

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA KONSTRUKCÍ STAVEB

Návrh železobetonových konstrukcí městské radnice  
Design of reinforced concrete structures of apartment building

Student:

Michal Dutko

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

Ostrava 2019

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Dutko**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb

Téma: **Návrh železobetonových konstrukcí městské radnice**  
**Design of reinforced concrete structures of apartment building**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce bude vypracován návrh železobetonových konstrukcí budovy radnice. Studie budovy radnice je k dispozici u vedoucího práce. Budou navrženy vodorovné stropní konstrukce a svislé nosné konstrukce a konstrukce schodiště. Student vypracuje výkresy výztuže navržených prvků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí.

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2018

Datum odevzdání: 06.05.2019

[Redacted signature]

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry



[Redacted signature]

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

podpis studenta

.....

.....

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne .....

## **Anotace**

V rámci bakalářské práce jsou na základě studie navrženy a staticky posouzeny nosné části objektu radnice, jehož hlavní nosná část je tvořena železobetonovým skeletem. Součástí je také výkresová dokumentace vybraných prvků.

## **Klíčová slova**

Železobetonový skelet, stropní deska, sloup, štíhlost, průvlak, schodiště, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, Scia Engineer

## **Annotation**

Based on architectural design the bearing elements of town hall has been designed according to ultimate limit states and serviceability limit states. The reinforced concrete skeleton is the main supporting structure.

## **Key words**

Reinforced concrete skeleton, floor slab, column, slenderness, beam, staircase, ultimate limit states, serviceability limit states

## Obsah

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Úvod.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Technická zpráva .....</b>   | <b>2</b>  |
| 2.1.      | Funkce budovy.....  | 2         |
| 2.2.      | Rozměry budovy a nosný systém .....                                     | 2         |
| 2.3.      | Založení objektu.....   | 3         |
| <b>3</b>  | <b>Zatížení.....</b>  | <b>4</b>  |
| 3.1.      | Stálé zatížení .....  | 4         |
| 3.2.      | Proměnná zatížení .....   | 5         |
| 3.3.      | Výpočtový model.....  | 9         |
| <b>4</b>  | <b>Metoda posuzování konstrukcí a materiálové charakteristiky .....</b> | <b>10</b> |
| 4.1.      | Metody mezních stavů .....  | 10        |
| 4.2.      | Materiálové charakteristiky.....  | 10        |
| <b>5</b>  | <b>Stropní konstrukce .....</b>   | <b>11</b> |
| 5.1.      | Nepochůzí střecha .....   | 11        |
| 5.2.      | Pochůzí střecha .....   | 16        |
| 5.3.      | Stropní konstrukce (uvnitř budovy) .....                                | 16        |
| <b>6</b>  | <b>Konstrukce schodiště .....</b>                                       | <b>17</b> |
| 6.1.      | Schodišťové rameno .....  | 17        |
| 6.2.      | Desková konstrukce mezipodesty .....                                    | 20        |
| <b>7</b>  | <b>Průvlaky .....</b>   | <b>21</b> |
| 7.1.      | Průvlaky v příčném směru .....  | 21        |
| 7.2.      | Průvlaky v podélném směru.....  | 28        |
| <b>8</b>  | <b>Sloupy .....</b>   | <b>29</b> |
| 8.1.      | Nejvíce zatížený sloup .....  | 29        |
| 8.2.      | Sloup přes dvě podlaží .....  | 37        |
| <b>9</b>  | <b>Závěr.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>10</b> | <b>Seznam příloh a výkresů.....</b>                                     | <b>46</b> |
| <b>11</b> | <b>Seznam použitých pramenů .....</b>                                   | <b>47</b> |

## Seznam použitého značení:

|                 |  |                    |
|-----------------|--|--------------------|
| $A_c$           | - plocha betonového průřezu                          | [mm <sup>2</sup> ] |
| $A_{s,w}$       | - plocha smykové výztuže                             | [mm <sup>2</sup> ] |
| $A_{s,req}$     | - požadovaná plocha výztuže                          | [mm <sup>2</sup> ] |
| $A_{s,real}$    | - skutečná plocha výztuže                            | [mm <sup>2</sup> ] |
| $A_{s,min}$     | - minimální povolená plocha výztuže                  | [mm <sup>2</sup> ] |
| $A_{s,max}$     | - maximální povolená plocha výztuže                  | [mm <sup>2</sup> ] |
| $E_s$           | - modul pružnosti oceli v tahu                       | [GPa]              |
| $F_s$           | - síla ve výztuži                                    | [kN]               |
| $K$             | - součinitel zohledňující nosný systém               | [-]                |
| $M_{Ed}$        | - návrhová hodnota ohybového momentu                 | [kNm]              |
| $N_{Ed}$        | - návrhová hodnota normálové síly                    | [kN]               |
| $V_{Ed}$        | - návrhová hodnota posouvající síly                  | [kN]               |
| $M_{Rd}$        | - návrhová únosnost v ohybu                          | [kNm]              |
| $V_{Rd}$        | - návrhová únosnost ve smyku                         | [kN]               |
| $\Delta M_{Ed}$ | - redukce ohyb. momentu nad podporou                 | [kNm]              |
| $a$             | - exponent při dvojosém ohybu                        | [-]                |
| $b$             | - šířka prvku  | [mm]               |
| $c_{min}$       | - minimální hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy   | [mm]               |
| $c_{nom}$       | - jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy   | [mm]               |
| $d$             | - účinná výška průřezu                               | [mm]               |
| $h$             | - výška desky/trámu                                  | [mm]               |
| $f_{ck}$        | - charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku   | [MPa]              |
| $f_{cd}$        | - návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku           | [MPa]              |
| $f_{ctm}$       | - průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu | [MPa]              |
| $f_{ctd}$       | - návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu            | [MPa]              |
| $f_{ywd}$       | - návrhová mez kluzu smykové výztuže;                | [MPa]              |
| $f_{yk}$        | - charakteristická hodnota pevnosti oceli v tahu     | [MPa]              |
| $f_{yd}$        | - návrhová hodnota pevnosti oceli v tahu             | [MPa]              |
| $k_1$           | - 1. součinitel pro vzdálenost prutů                 | [-]                |
| $k_2$           | - 2. součinitel pro vzdálenost prutů                 | [-]                |
| $l_0$           | - účinná výška sloupu                                | [mm]               |
| $l$             | - rozpětí desky nebo délka schodišťového ramene      | [mm]               |
| $n$             | - počet prutů výztuže v prvku                        | [ks]               |
| $n_{stř}$       | - n-střížný třmínek                                  | [ks]               |
| $s_o$           | - osová vzdálenost prutů výztuže                     | [mm]               |

|                    |  |       |
|--------------------|--|-------|
| $s_s$              | - světlá vzdálenost prutů výztuže  | [mm]  |
| $x$                | - výška tlačené oblasti  | [mm]  |
| $v_1$              | - redukční souč. pevn. betonu při porušení smykem  | [-]   |
| $z$                | - přibližná hodnota ramene vnitřních sil v prutovém prvku  | [mm]  |
| $z_s$              | - vzdálenost výztuže od středu průřezu   | [mm]  |
| $l/d_{mezni}$      | - požadovaný poměr rozpětí k účinné výšce k upuštění od výpočtu  | [-]   |
| $k_3 \cdot f_{yk}$ | - mezní napětí ve výztuži, kde nepřijatelné trhliny a deformace nevzniknou                             | [MPa] |
| $\alpha_1$         | - součinitel dle tvaru prutu   | [-]   |
| $\alpha_2$         | - součinitel dle betonové krycí vrstvy   | [-]   |
| $\alpha_3$         | - souč. pro nepřivař. příčné výztuže k hl. výztuži   | [-]   |
| $\alpha_4$         | - souč. pro přivaření příčné výztuže k hl. výztuži   | [-]   |
| $\alpha_5$         | - součinitel dle účinku ovinutí příčným tlakem   | [-]   |
| $\alpha_6$         | - součinitel pro přesahy sítí  | [-]   |
| $\alpha_{cw}$      | - souč. zohledňující stav napětí v tlačném pásu  | [-]   |
| $\gamma_c$         | - součinitel pevnosti betonu   | [-]   |
| $\gamma_s$         | - součinitel pevnosti oceli  | [-]   |
| $\emptyset$        | - průměr výztuže   | [mm]  |
| $\xi$              | - maximální tlačená oblast průřezu   | [-]   |
| $\xi_{bal}$        | - skutečně tlačená oblast průřezu  | [-]   |
| $\eta_1$           | - součinitel dle podmínek soudržnosti  | [-]   |
| $\eta_2$           | - součinitel dle $\emptyset$ prutu<br>- referenční stupeň  | [-]   |
| $\rho_0$           | - vyztužení  | [-]   |
| $\rho$             | - požad. stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí/vetknutí                                   | [-]   |
| $\rho'$            | - požad. stupeň vyztužení tlakovou výztuží ve středu rozpětí/vetknutí<br>- skutečné vyztužení smykovou | [-]   |
| $\rho_w$           | - vyztužení<br>- minimální vyztužení smykovou  | [-]   |
| $\rho_{w,min}$     | - vyztužení  | [-]   |
| $\sigma_s$         | - napětí ve výztuži  | [MPa] |
| $MSÚ$              | - mezní stav únosnosti   |       |
| $MSP$              | - mezní stav použitelnosti   |       |
| $DES$              | - deska  |       |
| $TR$               | - průvlak  |       |
| $SL$               | - sloup  |       |



# 1 Úvod

Monolitické železobetonové skelety mají výhodu v prostorově variabilním řešení stavby. Jejich pevnost, tuhost a odolnost lze považovat za podstatně vyšší než u prefabrikovaných konstrukcí. Pro vysoké budovy je vhodné používat obousměrné rámové skelety.

Předmětem této bakalářské práce je statický návrh objektu, jehož nosná část je tvořena obousměrným železobetonovým rámovým skeletem, a to na základě architektonické studie. Ta byla vypracována studentkou VŠB – TUO Dominikou Jančovou [1]. Hlavním cílem je posudek jednotlivých nosných prvků na zjištěná zatížení resp. vnitřní síly. Vybrané prvky z návrhu jsou doplněny výkresovou dokumentací výztuže.

Druhá kapitola je věnována popisu objektu z hlediska jeho funkce, rozměrů, nosného systému a založení.

Třetí kapitola se zabývá definicí stálého a proměnného zatížení na budovu. Tato zatížení jsou poté aplikována na výpočtový model.

Ve čtvrté kapitole je nastíněna metoda posuzování konstrukcí a jejich materiálové charakteristiky.

Kapitoly pět až osm jsou věnovány posudkům jednotlivých prvků, tj. deskovým konstrukcím, průvlakům a sloupům.

Pro návrh jsou konstrukce a její části modelovány v programu SCIA Engineer.

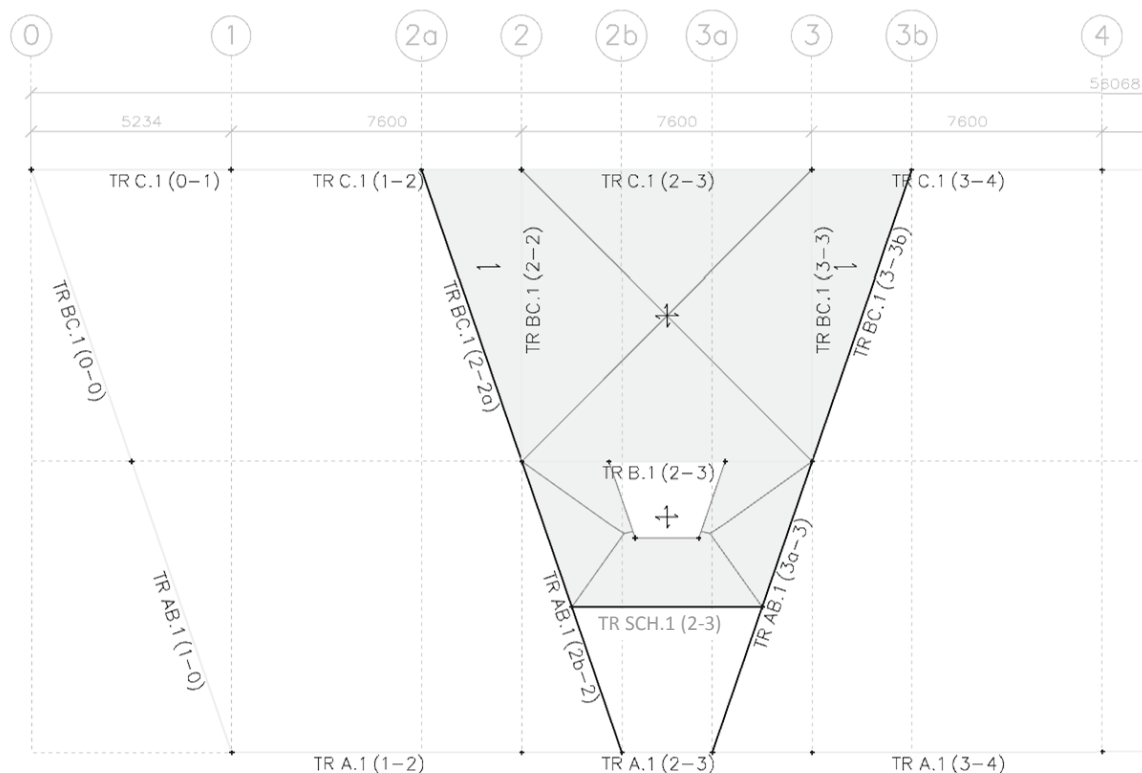
## 2 Technická zpráva

### 2.1. Funkce budovy

Dle architektonického návrhu [1] se jedná o budovu Radnice Městského Obvodu Mariánské Hory a Hulváky na Mariánském náměstí (Ostrava). Administrativní budova má tři, čtyři, resp. pět nadzemních podlaží (viz obr. 2.3), kdy oproti architektonickému návrhu nejsou součástí podzemní garáže.

### 2.2. Rozměry budovy a nosný systém

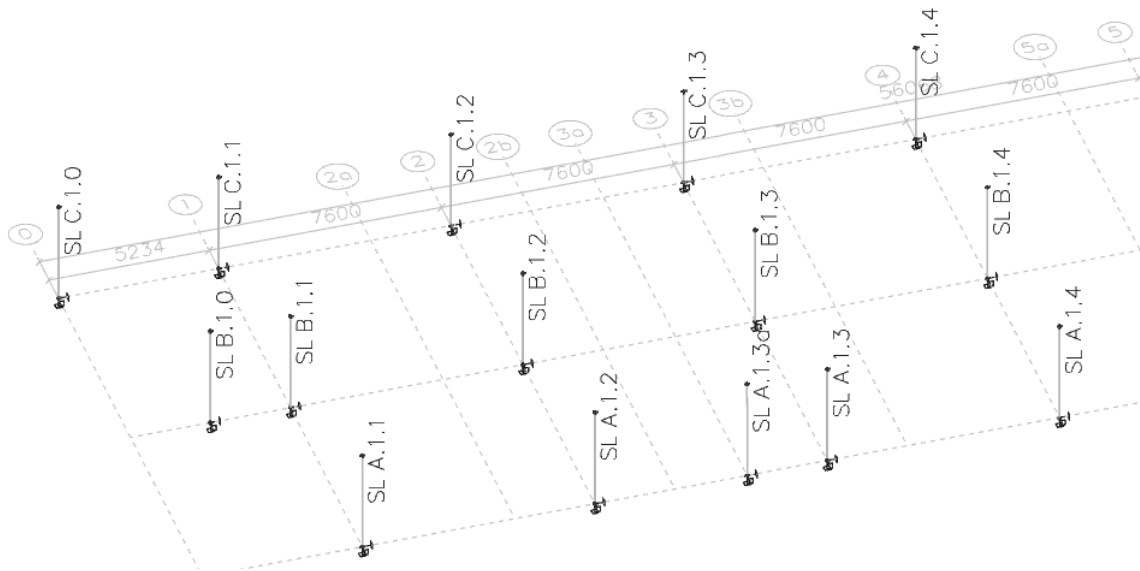
Budova si ponechává asymetričnost dle studie [1], kdy jsou půdorysně kratší strany v úhlu  $71^\circ$  ve vztahu k delším stranám objektu. Šířka budovy je zachována, avšak délka je zkrácena z 82,4 m na délku 50,8 m. Budova má základní osovou vzdálenost sloupů 7,6 metrů v podélném i příčném směru. V oblasti balkónu (resp. schodiště) a v šikmých rozích je vzdálenost sloupů zkrácena (viz obr. 2.3). Tyto sloupy byly oproti studii posunuty a také přidány pro lepší statické působení konstrukce. Půdorysný rozměr všech sloupů je 400x400 mm. Průřez průvlaků je 650x400 mm, kde je započteno nosných stropních desek tl. 200 mm. Tloušťka desky je oproti studii snížena o 50 mm. Pro snížení rozpětí byly také přidány průvlaký. Střecha je plochá s atikami o výšce maximálně 170 mm. Asymetrické schodiště má šířku ramene 1400 mm, kde je tloušťka schodišťové desky 150 mm (oproti studii snížena o 130 mm).



Obr. 2.1 Schéma značení průvlaků (rozteč v mm)

### 2.3. Založení objektu

Sloupy hlavní nosné konstrukce budou vetknuty do základové desky, která zabrání případným nerovnoměrným deformacím (sedání, apod.). Vzhledem k rozsáhlosti objektu nejsou součástí bakalářské práce návrh a posudek této desky.



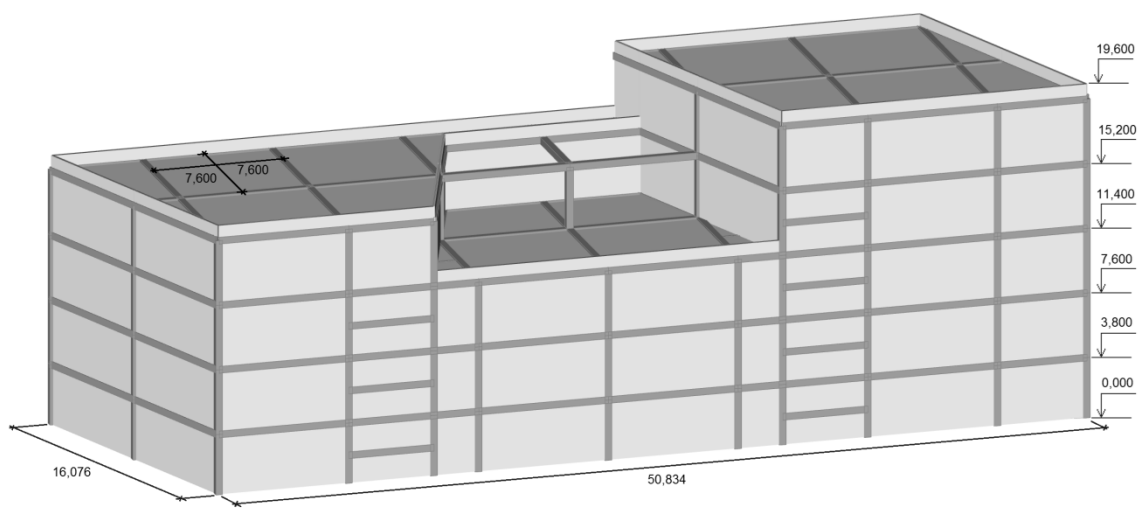
Obr. 2.2 Schéma značení sloupů (rozteč v mm)

### 2.4. Další informace o konstrukci

Opláštění budovy je provedeno z prefabrikovaných fasádních panelů o hmotnosti  $m = 100 \text{ kg/m}^3$ .

Zastavěná plocha:  $793 \text{ m}^2$

Objem/hmotnost betonu:  $879 \text{ m}^3 \div 2\,200 \text{ tun}$



Obr. 2.3: Zobrazení celkového modelu konstrukce; rozměry v [m]

### 3 Zatížení

#### 3.1. Stálé zatížení

Vlastní tíha nosného skeletu (průvlaky a sloupy) je počítána pomocí programu SCIA Engineer. Oproti tomu je stálé zatížení od střešní a stropní konstrukce, stejně jako i zatížení obvodovým pláštěm a schodištěm dáno jejich vrstvami:

DL<sub>1</sub> - Zatížení od střešní konstrukce (nepochůzí část)

| Materiál                          | [kg/m <sup>2</sup> ] | $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |               |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------|
| fólie z PVC-P                     | 1,85                 | 0,018                      |               |
| separační vrstva (geotextilie)    | 0,3                  | 0,003                      |               |
| tepelná izolace EPS 150           | 0,255*24             | 0,061                      | 100+ (80÷230) |
| železobetonová stropní konstrukce | 0,20*2500            | 5,000                      |               |
| tenkovrstvá minerální omítka      | 0,005*1600           | 0,080                      |               |
| $\Sigma g_k$                      |                      | $\cong 5,200$              | (5,162)       |

DL<sub>2</sub> - Zatížení od střešní konstrukce (pochůzí část)

| Materiál                        | [kg/m <sup>2</sup> ] | $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] | tl. [mm] |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------|----------|
| skladba nepochůzí části         | -                    | 5,200                      |          |
| pískovcová dlažba na podločkách | 0,02*2500            | 0,500                      | 33mm     |
| $\Sigma g_k$                    |                      | $\cong 5,700$              |          |

DL<sub>3</sub> - Zatížení od stropní konstrukce

| Materiál                          | [kg/m <sup>2</sup> ] | $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |         |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|---------|
| litý umělý kámen                  | 0,015*2300           | 0,345                      | 15mm    |
| kalciumsulfátové podlahové desky  | 53,0                 | 0,530                      | 40mm    |
| podložky s dutinou pro instalace  | -                    | -                          | 90mm    |
| železobetonová stropní konstrukce | 0,20*2500            | 5,000                      | 250mm   |
| tenkovrstvá minerální omítka      | 0,005*1600           | 0,800                      | 5mm     |
| $\Sigma g_k$                      |                      | $\cong 6,700$              | (6,675) |

SCH<sub>1</sub> - Zatížení podesty schodiště – tíha železobetonové konstrukce je generována programem SCIA Engineer

| Materiál                          | [kg/m <sup>2</sup> ] | $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|
| litý umělý kámen                  | 0,015*2300           | 0,345                      |
| železobetonová stropní konstrukce | 0,15*2500            | 3,750                      |
| tenkovrstvá minerální omítka      | 0,005*1600           | 0,800                      |
| $\Sigma g_k$                      |                      | $\cong 4,900$              |

SCH<sub>2</sub> - Zatížení schodišťového ramene – tíha železobetonové konstrukce je generována programem SCIA Engineer

| Materiál                         | [kg/m <sup>2</sup> ]                           | $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------------------|--|----------------------------|
| skladba podesty schodiště        | -  | 4,900                      |
| zatížení od schodišťových stupňů | $\frac{11 * 0,5 * (0,17 * 0,25) * 2500}{3,15}$ | 1,855                      |
| $\Sigma g_k$                     |  | $\cong 6,800$              |

DL<sub>PL</sub> - Zatížení obvodovým pláštěm

| Materiál                                  | [kg/m <sup>2</sup> ] | $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|---|----------------------|----------------------------|
| prefabrikované fasádní panely včetně oken | 100*0,3              | 0,3                        |

### 3.2. Proměnná zatížení

Z proměnných zatížení se uplatní užitná zatížení, zatížení sněhem a větrem.

#### 3.2.1. Užitná zatížení

Užitná zatížení jsou definována dle [3] takto:

| Druh zatížení (označení) | $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------------|----------------------------|
| Střechy, kat. H (H)      | 0,75                       |
| Kanceláře, kat. B (B1)   | 2,50                       |
| Balkón (B2)              | 3,00                       |

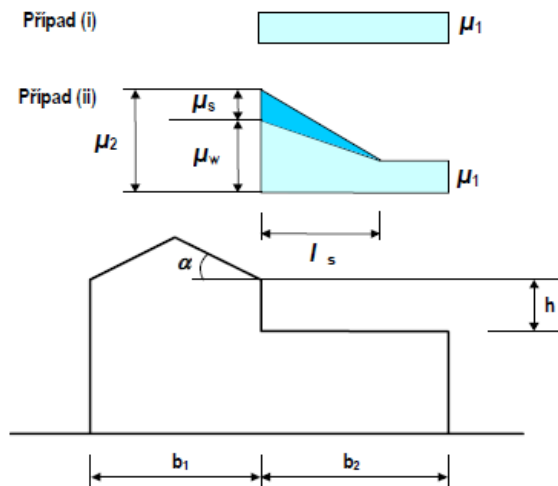
### 3.2.2. Zatížení sněhem (S)

Stavba se dle [4] nachází ve sněhové oblasti II. Dle [4] je však možné použít pro zpřesnění charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi  $s_k$  sněhovou mapu [5]. Typ krajiny je definován jako normální. Na střeše nedochází k významným prostupům tepla.



Obr. 3.1: Umístění stavby

V oblasti terasy je nutno počítat s možností návěje dle [4].



Obr. 3.2: Tvarové součinitele zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám dle [4]

Parametry navátého sněhu:

$$\mu_1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_w = \min\left(\frac{b_1+b_2}{2 \cdot h}; \gamma \cdot \frac{h}{s_k}; u_{w,max}\right) = \min\left(\frac{7,6+7,6}{2 \cdot 3,8}; \frac{2 \cdot 3,8}{0,88}; 2,0\right) = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad (3.1)$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2,0 = 2,0 \quad (3.2)$$

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 3,8 = 7,6 \text{ m}; \quad 5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m} \quad (3.3)$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi:  $s_k = 0,88 \text{ kN/m}^2$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem:

$$C_e = 1; \quad C_t = 1 \quad s_i = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.4)$$

$$s_1 = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,88 = 0,704 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{2(návěj)} = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,88 = 1,76 \text{ kN/m}^2$$

Výstup z programu Excel je doložen v příloze 1.1.

### 3.2.3. Zatížení větrem (W)

Jelikož je základní rychlost větru udávaná v mapě větrných oblastí stanovena pro návrhovou životnost 50 let, musí být hodnota upravena dle [6], neboť budova má 80letou návrhovou životnost. Hodnota součinitele pravděpodobnosti je také automaticky generována v softwaru Scia Engineer.

Součinitel pravděpodobnosti:

$$c_{prob} = \left( \frac{1-K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1-K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = 1,0263 \quad (3.5)$$

Výchozí základní rychlost větru (oblast II):  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

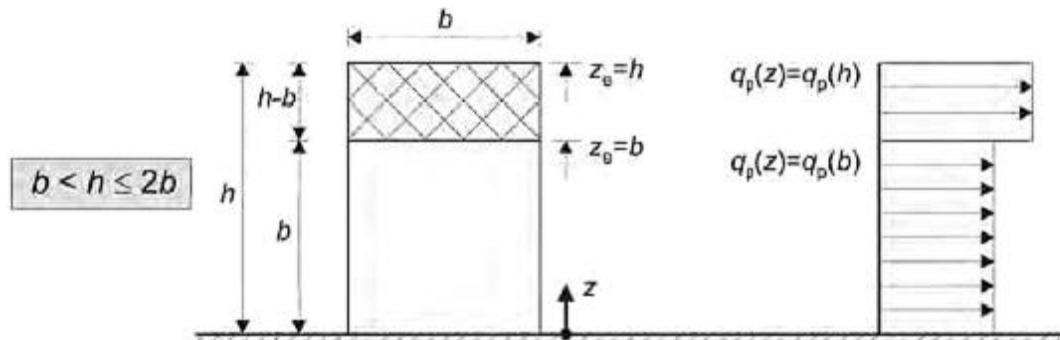
Součinitel směru větru:  $c_{dir} = 1$

Součinitel ročního období:  $c_{season} = 1$

Výpočet základní rychlosti větru:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot c_{prob} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 1,0263 \cdot 25 = 25,66 \text{ m/s} \quad (3.6)$$

Pro výpočet tlaku větru  $q_p(z)$  je také nutno brát v úvahu referenční výšku budovy, která je v jedné části vyšší než její šířka, a proto dle [6] nelze uvažovat  $q_p(z)$  konstantní.



Obr. 3.3: Referenční výška budovy

Referenční výška spodní části budovy:  $z_{e,1} = b = 15,8 \text{ m}$

Referenční výška horní části budovy:  $z_{e,2} = h = 19,6 \text{ m}$

Budova se nachází ve III. kategorii terénu.

Parametr drsnosti terénu:  $z_0 = 0,3 \text{ m}$

Parametr drsnosti terénu v kategorii II:  $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

Minimální výška objektu:  $z_{min} = 5 \text{ m}$

Součinitel terénu:

$$k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215 \quad (3.7)$$

$$\text{Součinitel drsnosti terénu (za } z \text{ se dosazuje } b \text{ resp. } h): \quad c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad (3.8)$$

$$c_r(b) = 0,215 \cdot \ln \frac{15,8}{0,3} = 0,852$$

$$c_r(h) = 0,215 \cdot \ln \frac{19,6}{0,3} = 0,899$$

$$\text{Součinitel ortografie:} \quad c_0(z) = 1$$

$$\text{Součinitel turbulence:} \quad k_I = 1$$

$$\text{Měrná hmotnost vzduchu:} \quad \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Výpočet charakteristické střední rychlosti větru: } v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (3.9)$$

$$v_m(b) = 0,852 \cdot 1 \cdot 25,66 = 21,91 \text{ m/s}$$

$$v_m(h) = 0,899 \cdot 1 \cdot 25,66 = 23,10 \text{ m/s}$$

$$\text{Intenzita turbulence: } I_V(z) = k_I / (c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)) \quad (3.10)$$

$$I_V(b) = \frac{1}{1 \cdot \ln(15,8/0,3)} = 0,252$$

$$I_V(h) = \frac{1}{1 \cdot \ln(19,6/0,3)} = 0,239$$

Výpočet charakteristického maximálního dynamického tlaku:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_V(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (3.11)$$

$$q_p(b) = [1 + 7 \cdot 0,252] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,9^2 = 829,5 \text{ N/m}^2$$

$$q_p(h) = [1 + 7 \cdot 0,239] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 23,1^2 = 891,8 \text{ N/m}^2$$

Tlak větru na konstrukci:

$$w_k = q_p(h) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (3.12)$$

Výsledné tlaky v oblasti 5.NP, kde součinitele vnitřního tlaku jsou:

$$c_{pi} = -0,3 \quad \text{nebo} \quad c_{pi} = 0,2$$

|                  |      |  | $c_{pi,10}^-$                                    | $c_{pi,10}^+$ |        |
|------------------|------|--|--|---------------|--------|
| $c_{pe,10}^{F-}$ | -1,8 | součinitel<br>vnějšího tlaku<br>$c_{pe} [-]$ | $w_k^{F-}_{stř,19.6}$                            | -1,338        | -1,784 |
| $c_{pe,10}^{G-}$ | -1,2 |  | $w_k^{G-}_{stř,19.6}$                            | -0,803        | -1,249 |
| $c_{pe,10}^{H-}$ | -0,7 |  | $w_k^{H-}_{stř,19.6}$                            | -0,357        | -0,803 |
| $c_{pe,10}^{I-}$ | -0,2 |  | $w_k^{I-}_{stř,19.6}$                            | -0,089        | -0,357 |
| $c_{pe,10}^{I+}$ | 0,2  |  | $w_k^{I+}_{stř,19.6}$                            | 0,446         | 0,000  |
|                  |      |  | výsledné<br>tlaky větru<br>$w_k [\text{kN/m}^2]$ |               |        |

Zde je zatížení větrem v oblasti střechy 5.NP (podrobný výstup všech zatížení z programu Excel je doložen v příloze 1.2).



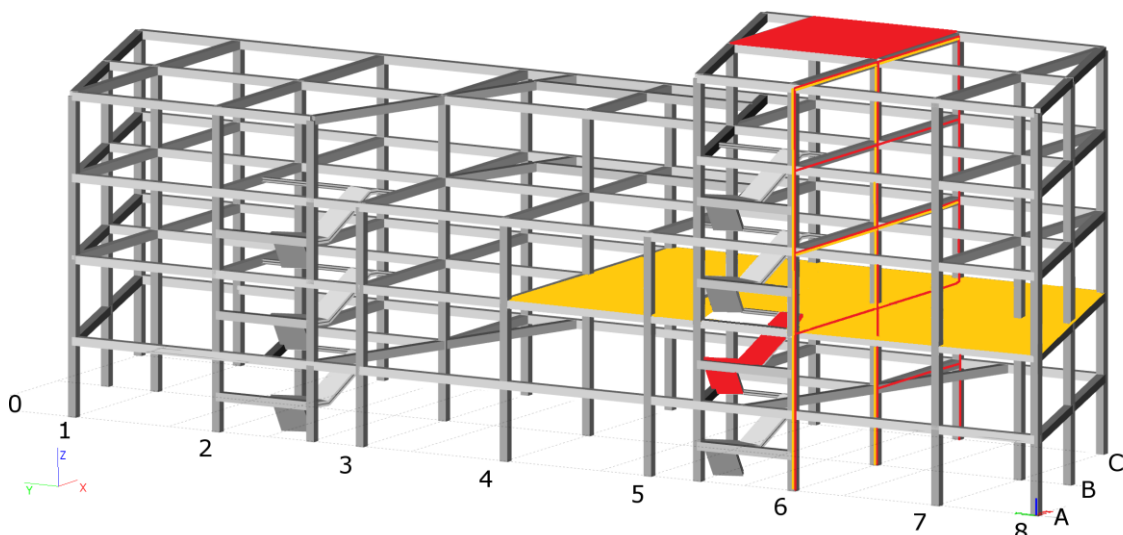
### 3.3. Výpočtový model

Výpočtový model je proveden v programu SCIA Engineer. Nejprve je vytvořena pomocná 3D síť (dále jen rastr), podle kterého lze vymodelovat skelet konstrukce (sloupy a průvlaky). Tento rastr je také použit k označení prvků skeletu, jež slouží pro lepší orientaci o umístění jednotlivých prvků konstrukce.

Střešní a stropní konstrukce jsou doplněny vzápětí, a jsou řešeny pomocí roznášecích panelů (roznos ve dvou směrech). Slouží tak pouze pro přenos zatížení do nosného skeletu. Tyto deskové konstrukce jsou poté dimenzovány na základě samostatného modelu.

Obvodový plášť je řešen také jako roznášecí panel, avšak zatížení je přenášeno převážně jen do sloupů (v jednom směru). Dimenzování obvodového pláště není součástí bakalářské práce.

Konstrukce schodiště je vytvořena pomocí deskových konstrukcí. Pro rychlejší výpočet je konstrukce schodiště dimenzována na základě samostatného zjednodušeného modelu.



Obr. 3.4: Červeně jsou zobrazeny vybrané konstrukce budovy pro návrh a posudek; žlutě jsou zobrazeny části vybrané pro výkresovou dokumentaci

Delší směr budovy je označen jako směr  $y$  a kratší směr jako směr  $x$  (viz obr 3.4).

Sloupy 1.NP jsou uvažovány jako vetknuté. Vazba všech spojů je uvažována jako rámová.

Všechny konstrukce v modelu jsou zatíženy dle kapitoly 3 (resp. dle přílohy 1).

## 4 Metoda posuzování konstrukcí a materiálové charakteristiky

### 4.1. Metody mezních stavů

K posouzení nosných prvků budou použity metody mezních stavů. Mezní stav únosnosti (dále MSÚ) a mezní stav použitelnosti (dále MSP) jsou založené na porovnání návrhových hodnot odolnosti konstrukce s maximálními účinky od zatížení. Při překročení MSÚ může dojít např. ke ztrátě stability konstrukce či k překročení pevnosti materiálu. Překročením MSP nedochází k vážným následkům jako je tomu u MSÚ, ale uživatelům je ztíženo používání této konstrukce, neboť dochází např. k deformacím, které ovlivňují vzhled konstrukce nebo ke kmitání, které vede k nepohodlí uživatelů.

### 4.2. Materiálové charakteristiky

Ve všech konstrukcích bude použit beton třídy C25/30. Betonářská výztuž bude provedena z oceli třídy B500 B.

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,56 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$E_{cm} = 31,48 \text{ MPa}$$

$$\xi_{bal} = 700 / (700 + f_{yd}) = 0,617$$

$$f_{ctd} = (\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}) / \gamma_c = (1 \cdot 1,795) / 1,5 = 1,20 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \eta_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,70 \text{ MPa}$$

Součinitel  $\eta_1 = 1$ , neboť podmínky soudržnosti jsou dobré.

Součinitel  $\eta_2 = 1$ , neboť výztuž nepřesáhne průměr 32 mm.

Životnost konstrukce: 80 let

Třída konstrukce: S4

Třída prostředí: XC1 (suché)

Odchylka krytí výztuže u monolitických konstrukcí:  $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

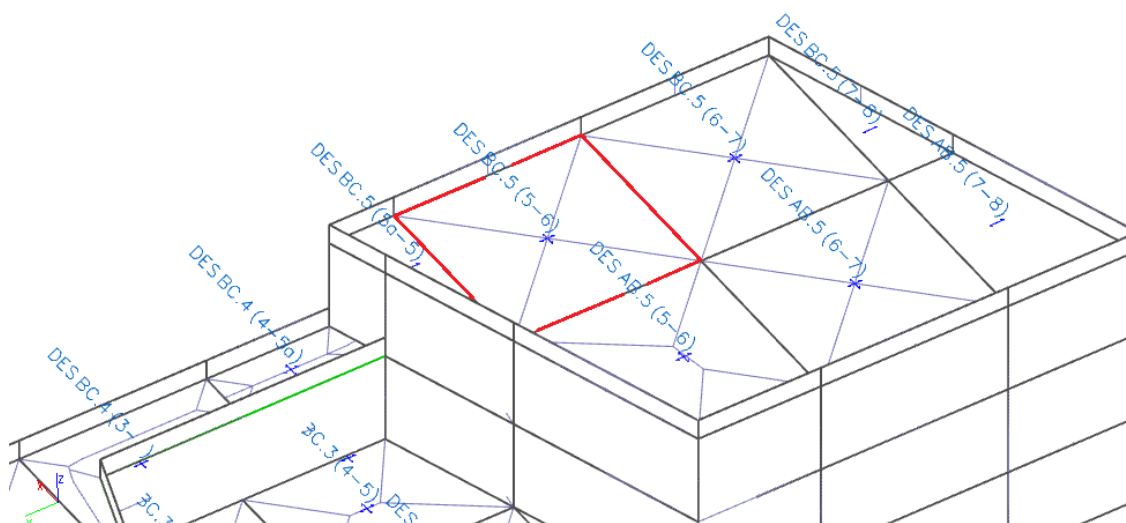
Nejvyšší průměr kameniva v betonu:  $d_g = 16 \text{ mm}$

## 5 Stropní konstrukce

Všechny stropní desky budou vyztuženy pomocí svařovaných KARI sítí.

### 5.1. Nepochůzí střecha

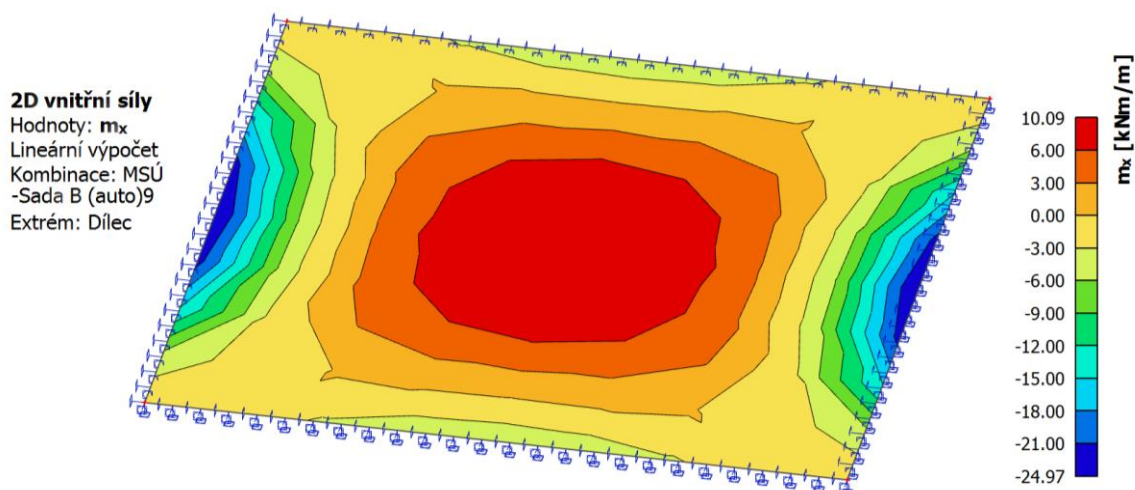
Pro návrh a posudek je zvolena nejvíce namáhaná deska: DES BC.5 (5-6). Méně namáhané desky budou mít shodnou výztuž jako deska posuzovaná. K zjištění vnitřních sil byl použit software SCIA Engineer, kde je deska modelována jako po okraji vetknutá, protože je součástí monolitického skeletu.



Obr. 5.1: Umístění desky na modelu konstrukce

Pro posudek je použita nejneprůzlivější kombinace zatížení:

$$g_d = 1,35 \cdot (DL_1) + 1,5 \cdot (S) + 0,9 \cdot (w_{k, stř., 19.6}^{I+}) \quad (5.1)$$



Obr. 5.2: Zobrazení hodnot ohybových momentů  $m_x$  pro návrh výztuže ( $m_y$  je symetrické)

Ohybový moment v poli:

$$m_{Ed, max}^+ = 10,09 \text{ kNm/m}$$

Ohybový moment v podpoře:

$$m_{Ed, max}^- = 24,97 \text{ kNm/m}$$

### 5.1.1. Návrh výztuže (platí pro směr $x$ i $y$ ):

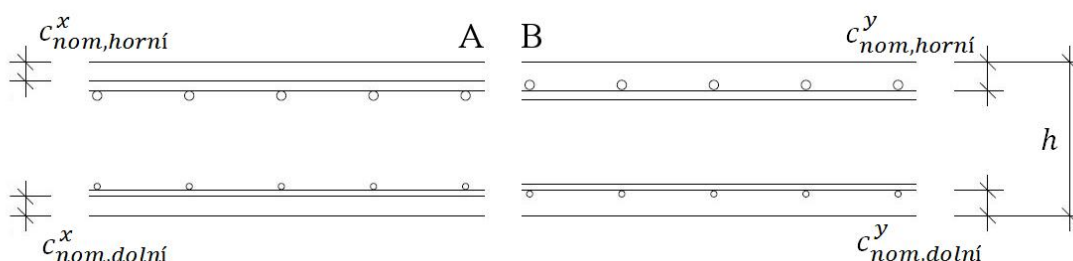
Výška desky:  $h = 200$  mm

Rozpětí desky:  $l_y = l_x = 7600$  mm

Průměr výztuže:  $\emptyset_{dolní} = 6$  mm  $\emptyset_{horní} = 10$  mm

Vzdálenost prutů:  $s_{dolní} = 100$  mm  $s_{horní} = 150$  mm

Na základě zvoleného průměru výztuže je zvoleno krytí výztuže. Je závislé na třídě konstrukce, prostředí, ve kterém se prvek nachází, návrhové odchylce krytí a případně na konstrukčních zásadách. Je nutno brát v úvahu také okolní výztuž, a jelikož deska bude vyztužená ve dvou směrech, krytí bude pro výztuž v jednom směru větší o průměr výztuže v druhém směru (viz obr. 5.3).



Obr. 5.3: A) zobrazuje krytí výztuže v podélném řezu budovy;  
B) ukazuje krytí výztuže v příčném řezu budovy (opačný směr);

$$c_{min} = \max(c_{min,b} ; c_{min,dur} ; 10 \text{ mm}) = \max(10 ; 15 ; 10) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (5.2)$$

$$c_{nom,dolní}^x = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \quad c_{nom,horní}^x = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom,dolní}^y = 15 + 10 + 6 = 31 \text{ mm} \quad c_{nom,horní}^y = 15 + 10 + 10 = 35 \text{ mm}$$

### Odolnost výztuže:

Plocha výztuže (pro oba směry stejná plocha, tj. síť s čtvercovými oky):

$$A_s = \frac{1}{s[m]} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 \quad (5.3)$$

$$a_{s,dolní}^x = a_{s,dolní}^y = \frac{1}{0,10} \cdot \pi \cdot \left(\frac{6}{2}\right)^2 = 283 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,horní}^x = a_{s,horní}^y = \frac{1}{0,15} \cdot \pi \cdot \left(\frac{10}{2}\right)^2 = 524 \text{ mm}^2$$

Síla ve výztuži (v obou směrech stejná síla)

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} \quad (5.4)$$

$$F_{s,dolní}^x = F_{s,dolní}^y = 283 \cdot 434,78 = 122,9 \text{ kN}$$

$$F_{s,horní}^x = F_{s,horní}^y = 524 \cdot 434,78 = 227,7 \text{ kN}$$

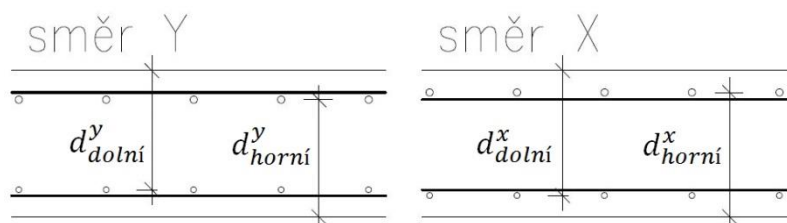
$$\text{Účinná výška průřezu:} \quad d = h - \left( c_{nom} + \frac{\varnothing}{2} \right) \quad (5.5)$$

$$d_{dolní}^x = 200 - \left( 25 + \frac{6}{2} \right) = 172 \text{ mm}$$

$$d_{horní}^x = 200 - \left( 25 + \frac{10}{2} \right) = 170 \text{ mm}$$

$$d_{dolní}^y = 200 - \left( 31 + \frac{6}{2} \right) = 166 \text{ mm}$$

$$d_{horní}^y = 200 - \left( 35 + \frac{10}{2} \right) = 160 \text{ mm}$$



Obr. 5.1.4: Uložení výztuže ve dvou směrech

Výška tlačené oblasti průřezu:

$$x = F_s / \lambda \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \eta \quad (5.6)$$

$$\lambda = 0,8$$

$$\eta = 1$$

$$x_{dolní}^x = x_{dolní}^y = \frac{122,9}{0,8 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 1} = 9,22 \text{ mm}$$

$$x_{horní}^x = x_{horní}^y = \frac{227,7}{0,8 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 1} = 17,07 \text{ mm}$$

**Posudek odolnosti ve směru x a y:**

$$M_{Rd} = F_s \cdot [d - (\lambda/2) \cdot x] \quad (5.7)$$

$$m_{Rd,dolní,x}^+ = 122,9 \cdot [0,172 - 0,4 \cdot 0,009] = 20,69 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,horní,x}^- = 227,7 \cdot [0,170 - 0,4 \cdot 0,017] = 37,15 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,dolní,y}^+ = 122,9 \cdot [0,166 - 0,4 \cdot 0,009] = 19,95 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,horní,y}^- = 227,7 \cdot [0,160 - 0,4 \cdot 0,017] = 34,87 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,max}^+ = 10,09 \text{ kNm/m} \quad m_{Ed,max}^- = 24,97 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} > m_{Ed}$$

Výztuž vyhoví dle mezního stavu únosnosti.

### 5.1.2. Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left( 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \right) \quad (5.8)$$

$$A_{s,min,dolní}^x = \max \left( 0,26 \cdot \frac{2,56}{500} \cdot 1 \cdot 172 = 0,229 \right) = 229 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,horní}^x = 226,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,dolní}^y = 217,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,horní}^y = 213,4 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{s,min} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Maximální plocha výztuže (stejně pro všechny výztuže):

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c \quad (5.9)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot 0,2 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_s < A_{s,max} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = x/d \quad (5.10)$$

$$\xi_{bal} = 0,617$$

$$\xi_{dolní,x} = 9,22/172 = 0,054$$

$$\xi_{horní,x} = 17,07/170 = 0,100$$

$$\xi_{dolní,y} = 9,22/166 = 0,056$$

$$\xi_{horní,y} = 17,07/160 = 0,107$$

$$\xi < \xi_{bal} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Maximální osová vzdálenost výztuže (pro x i y směr stejné):

$$s_{max} = \min (2 \cdot h ; 300 \text{ mm}) = 300 \text{ mm} \quad (5.11)$$

$$s_{o,dolní} = 100 \text{ mm} \quad s_{o,horní} = 150 \text{ mm}$$

$$s_o \leq s_{max} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže (pro x i y směr stejné):

$$s_{min} = \max (1,2 \cdot \emptyset ; d_g + 5 ; 20 \text{ mm}) \quad (5.12)$$

$$s_{min} = \max (1,2 \cdot 10 ; 16 + 5 ; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{s,dolní} = s_o - \emptyset = 100 - 6 = 94 \text{ mm}$$

$$s_{s,horní} = s_o - \emptyset = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

$$s_s \geq s_{min} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Základní kotevní délka (pro  $x$  i  $y$  směr stejné):

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (5.13)$$

$$l_{b,rqd,dolní} = \frac{6}{4} \cdot \frac{434,78}{2,693} = 242 \text{ mm}$$

$$l_{b,rqd,horní} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,693} = 404 \text{ mm}$$

Koeficienty pro kotevní délku:

|   |   |
|---|---|
| $\alpha_1 = 1$  | pro přímé tažené pruty                                  |
| $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \emptyset) / \emptyset$ | pro přímé tažené pruty ( $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$ ) |
| $\alpha_3 = 1$  | není zde ovinutí příčnou výztuží                        |
| $\alpha_4 = 0,7$ (běžně 1)                                | pro příčně přivařené pruty (KARI síť)                   |
| $\alpha_5 = 1$  | není zde účinek ovinutí příčným tlakem                  |

Navržená kotevní délka (vypočteno pro horší směr, tj. směr  $x$ ):

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}) \quad (5.14)$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \quad (5.15)$$

$$l_{bd,dolní} = 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 242 = 119 \text{ mm} \quad l_{b,min,dolní} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd,horní} = 1 \cdot 0,775 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 404 = 219 \text{ mm} \quad l_{b,min,horní} = 121 \text{ mm}$$

Dolní výztuž musí být kotvena na délku 120 mm. Horní výztuž musí být kotvena na délku 220 mm.

Délka přesahů pro síť:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \quad (5.16)$$

$$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \emptyset; 200 \text{ mm}) \quad (5.17)$$

$$\alpha_6 = 1,5 \quad 100\% \text{ prutů stykovaných přesahem}$$

$$l_{0,min,dolní} = \max(109; 90; 200) = 200 \text{ mm}$$

$$l_{0,dolní} = 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 242 \cdot 1,5 \doteq 260 \text{ mm}$$

$$l_{0,min,horní} = \max(182; 100; 200) = 200 \text{ mm}$$

$$l_{0,horní} = 1 \cdot 0,775 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 404 \cdot 1,5 = 470 \text{ mm}$$

Dolní výztužné síť musí mít přesahy 260 mm. Horní výztužné síť musí mít přesahy 470 mm. Všechny konstrukční zásady jsou tak splněny.

### 5.1.3. Mezní stav použitelnosti (MSP)

Obecně je nutno zkontrolovat průhyb, napětí a možný vznik trhlin.

Omezení průhybu:

Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,3$

Referenční stupeň vyztužení:  $\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,0050$

Požadovaný stupeň vyztužení (stejně pro směr  $x$  i  $y$ ) :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot h} = \frac{251}{1000 \cdot 200} = 0,0013 \quad (5.18)$$

pro  $\rho \leq \rho_0$  :

$$l/d_{mezní} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad (5.19)$$

$$l/d_{mezní} = 1,3 \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{0,0050}{0,0013} + 3,2 \cdot \sqrt{25} \cdot \left( \frac{0,0050}{0,0013} - 1 \right)^{3/2} \right]$$

$$l/d_{real} = 7600/166 = 45,78 < l/d_{mezní} = 132,82 \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Je dodržen mezní poměr  $l/d$  a od výpočtu lze upustit.

Ověření napětí ve výztuži (počítáno v horším směru, tj.  $y$ ):

$$\text{Napětí ve výztuži při MSP: } \sigma_s = 310/500 \cdot \left( f_{yk} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_s} \right) \quad (5.20)$$

$$\sigma_{s,dolní} = \frac{31}{50} \cdot \left( 500 \cdot \frac{155}{283} \right) = 170 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,horní} = \frac{31}{50} \cdot \left( 500 \cdot \frac{399}{524} \right) = 236 \text{ MPa}$$

Mezní napětí ve výztuži:  $k_3 \cdot f_{yk} = 0,4 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$

Nepříjatelne trhliny a deformace nevzniknou, jelikož tahové napětí v betonářské výztuži při MSP nepřekročí mezní napětí  $k_3 \cdot f_{yk}$ .

Omezení trhlin a napětí v betonu:

Omezení trhlin a ověření napětí v betonu není potřeba, protože jsou splněny podmínky dle [7] a v prostředí XC1 nejsou kladeny požadavky na vzhled.

## 5.2. Pochůzí střecha

Návrh, posudek MSÚ, posudek MSP a konstrukční zásady uvedeny v příloze 2.1.

## 5.3. Stropní konstrukce (uvnitř budovy)

Návrh, posudek MSÚ, posudek MSP a konstrukční zásady uvedeny v příloze 2.2.

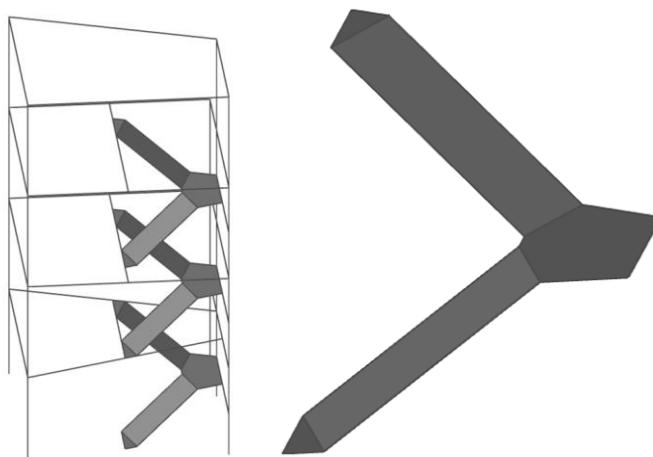


## 6 Konstrukce schodiště

Nástupní a výstupní rameno bude vyztuženo vázanou výztuží. Konstrukce mezipodesty mezi nástupním a výstupním ramenem bude provedena pomocí svařovaných KARI sítí. Tyto sítě budou navázány na výztuž schodišťových ramen.

### 6.1. Schodišťové rameno

Schodišťová ramena o tloušťce 150 mm se v celém objektu opakují, tzn., že jsou stejně namáhána i dimenzována. Mezipodesta i nástupní rameno jsou modelovány jako vetknuté desky, protože jsou součástí monolitického rámu.



Obr. 6.1: Schéma schodišťové části, včetně detailu

Pro posudek je použita nejnepríznivější kombinace zatížení:

$$g_d = 1,35 \cdot (\text{SCH}_1) + 1,5 \cdot (\text{B}_1) \quad \text{/pro mezipodestu/} \quad (6.1)$$

$$g_d = 1,35 \cdot (\text{SCH}_2) + 1,5 \cdot (\text{B}_1) \quad \text{/pro schodišťová ramena/} \quad (6.2)$$

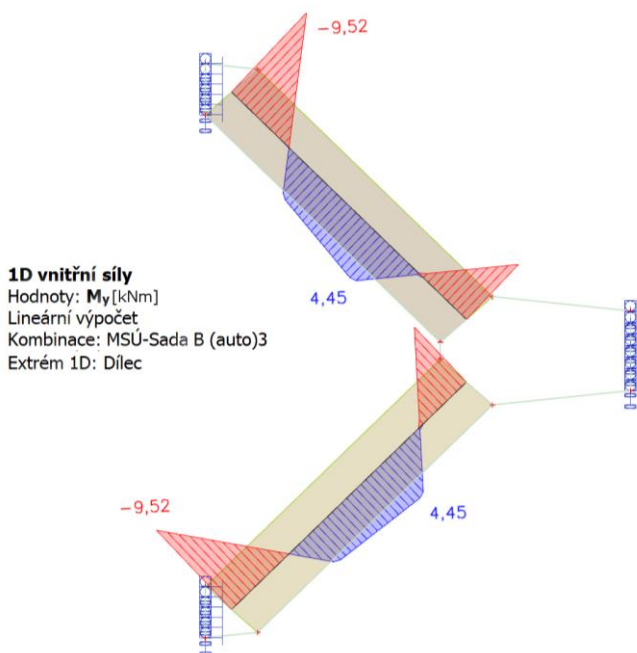
Nástupní (resp. výstupní) rameno lze zjednodušit na šikmý nosník s šířkou  $b = 1,40$  m. V softwaru SCIA Engineer, lze znázornit výsledky na deskách jako na nosnících pomocí funkce integračního pásu (viz obr. 6.2).

Ohybový moment v poli:

$$M_{Ed,max}^+ = 4,45 \text{ kNm}$$

Ohybový moment v podpoře:

$$M_{Ed,max}^- = 9,52 \text{ kNm}$$



Obr. 6.2: Ohybové momenty schodišťových ramen

### 6.1.1. Návrh hlavní výztuže (směr výstupu po schodišti):

Výška desky:  $h = 150 \text{ mm}$

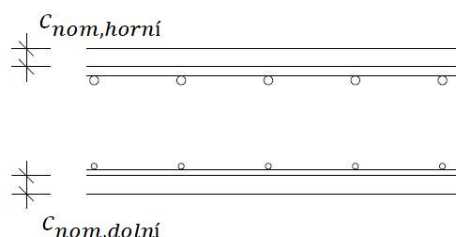
Rozpětí desky:  $l = 2923 \text{ mm}$

Průměr hlavní výztuže:  $\varnothing_{dolní} = 6 \text{ mm}$   $\varnothing_{horní} = 6 \text{ mm}$

Počet prutů v desce:  $n_{dolní} = 8 \text{ ks}$   $n_{horní} = 8 \text{ ks}$

Krytí výztuže dle rovnice (5.2) bude navýšeno o 5 mm, aby byly splněny konstrukční zásady ( $A_{s,min}$ ).

$$c_{nom,dolní} = c_{nom,horní} = 25 \text{ mm} + 5 = 30 \text{ mm}$$



Obr. 6.3: Schéma krytí hlavní nosné výztuže (včetně konstrukční výztuže)

### Odolnost výztuže:

Plocha výztuže:

$$A_s = \pi \cdot \left(\frac{\varnothing}{2}\right)^2 \cdot n \quad (6.3)$$

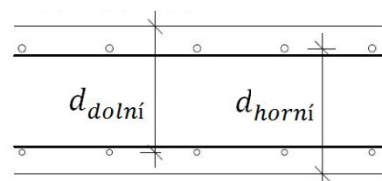
$$A_{s,dolní} = A_{s,horní} = \pi \cdot \left(\frac{6}{2}\right)^2 \cdot 8 = 226,2 \text{ mm}^2$$

Síla ve výztuži dle rovnice (5.4):

$$F_{s,dolní} = F_{s,horní} = 98,3 \text{ kN}$$

Účinná výška průřezu dle rovnice (5.5):

$$d_{dolní} = d_{horní} = 117 \text{ mm}$$



Výška tlačené oblasti průřezu dle rovnice (5.6):

$$x_{dolní} = x_{horní} = 5,2 \text{ mm}$$

Obr. 6.4: Uložení hlavní výztuže

### Posudek odolnosti dle rovnice (5.7):

$$M_{Rd,dolní}^+ = 11,3 \text{ kNm} \quad M_{Rd,horní}^- = 11,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max}^+ = 4,45 \text{ kNm} \quad M_{Ed,max}^- = 9,52 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

Hlavní ohybová výztuž vyhoví dle mezního stavu únosnosti.

### 6.1.2. Návrh rozdělovací výztuže (kolmo na směr výstupu po schodišti):

$$\varnothing_{r,dolní} = 6 \text{ mm} \quad s_{r,dolní} = 400 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{r,horní} = 6 \text{ mm} \quad s_{r,horní} = 400 \text{ mm}$$

Plocha rozdělovací výztuže dle rovnice (5.3):

$$A_{s,r,dolní} = A_{s,r,horní} = \frac{1}{0,4} \cdot \pi \cdot \left(\frac{6}{2}\right)^2 = 70,7 \text{ mm}^2$$

Minimální plocha rozdělovací výztuže:

$$A_{s,r,min} = 0,2 \cdot A_s \quad (6.4)$$

$$A_{s,r,min,dolní} = A_{s,r,min,horní} = 0,2 \cdot 226,2 = 45,2 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,r,min} < A_{s,r} = 70,7 \quad \dots \text{vyhovuje}$$

### 6.1.3. Konstrukční zásady hlavní výztuže:

Minimální plocha výztuže dle rovnice (5.8):

$$A_{s,min,dolní} = A_{s,min,horní} = 223,2 \text{ mm}^2 \quad A_{s,min} < A_s = 226,2 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže dle rovnice (5.9):

$$A_{s,max} = 8580 \text{ mm}^2 \quad A_{s,max} > A_s = 226,2 \text{ mm}^2$$

Omezení výšky tlačené oblasti dle rovnice (5.10):

$$\xi_{dolní} = \xi_{horní} = 0,044 \quad \xi < \xi_{bal} = 0,617$$

Maximální osová vzdálenost hlavní výztuže dle rovnice (5.11)  
a rozdělovací výztuže:

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{o,dolní} = s_{o,horní} = s_{s,dolní} + \varnothing = 195 \text{ mm} \quad s_{max} > s_o$$

$$s_{r,max} = \min \left( \frac{3 \cdot h}{400 \text{ mm}} \right) = \min \left( \frac{450}{400} \right) = 400 \text{ mm} \quad s_{r,max} > s_r \quad (6.5)$$

Minimální světlá vzdálenost hlavní výztuže dle rovnice (5.12):

$$s_{min} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{s,dolní} = s_{s,horní} = b - (n \cdot \varnothing + 2 \cdot c_{nom}) = 189 \text{ mm} \quad s_{min} < s_s$$

Kotevní délka dle rovnic (5.13); (5.14) a (5.15):

$$l_{b,rqd,dolní} = l_{b,rqd,horní} = \frac{6}{4} \cdot \frac{434,78}{2,693} = 242 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 242 \div 250 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

Výztuž bude kotvena na délku 250 mm. Všechny konstrukční zásady jsou splněny.

#### 6.1.4. Mezní stav použitelnosti (MSP)

U mezního stavu použitelnosti je obecně nutno zkontrolovat průhyb, napětí a možný vznik trhlin.

##### Omezení průhybu:

Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,3$

Referenční stupeň vyztužení:  $\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,0050$

Požadovaný stupeň vyztužení dle (5.18):

$$\rho = 0,0011$$

Mezní poměr délky a efektivní výšky prvku dle (5.19)

$$l/d_{real} = 2923/117 = 25,0 < l/d_{mezní} = 211,1$$

Je dodržen mezní poměr  $l/d$  a od výpočtu lze upustit.

##### Ověření napětí ve výztuži:

Napětí ve výztuži při MSP dle rovnice (5.20):

$$\sigma_{s,dolní} = 133 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,horní} = 285 \text{ MPa}$$

Mezní napětí výztuže:

$$k_3 \cdot f_{yk} = 0,4 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

Nepříjemné trhliny a deformace nevzniknou, jelikož tahové napětí v betonářské výztuži při MSP nepřekročí mezní napětí  $k_3 \cdot f_{yk}$ .

##### Omezení trhlin a napětí v betonu:

Omezení trhlin a ověření napětí v betonu není potřeba, protože jsou splněny podmínky dle [7] a v prostředí XC1 nejsou kladeny požadavky na vzhled.

## 6.2. Desková konstrukce mezipodesty

KARI síť bude navázána na ohybovou výztuž nástupního/výstupního ramene v požadované kotevní délce. Návrh, posudek MSÚ, posudek MSP a konstrukční zásady uvedeny v příloze 3.

## 7 Průvlaky

Průvlaky jsou hlavní nosnou vodorovnou konstrukcí, která přenáší zatížení ze stropních a střešních desek, a také ze schodišť, do sloupů. Průvlaky budou vyztuženy jednotlivými pruty, vázaných pomocí třmínků (slouží i jako smyková výztuž).

### 7.1. Průvlaky v příčném směru

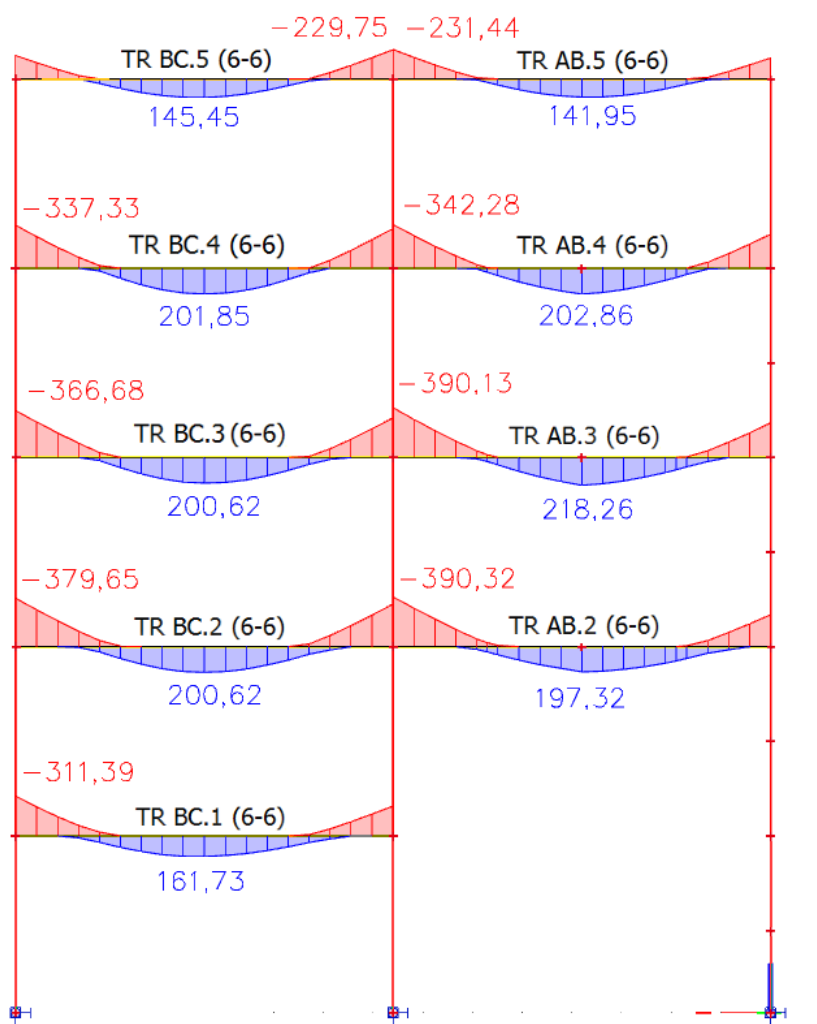
Nad podporou je ohybem nejvíce namáhán průvlak s označením TR AB.2 (7-7). Smykem a ohybem v poli je nejvíce namáhán průvlak TR BC.3 (4-4). Jejich návrh i posudek jsou doloženy v příloze 4.2. Zde je vyšetřován příčný rám 6. Průvlaky jsou rozděleny na střešní (řešeny v příloze 4.1) a běžné průvlaky.

Ohybový moment v poli:  $M_{Ed,max}^+ = 218,26 \text{ kNm}$

Ohybový moment v lici podpory:  $M_{Ed,max}^- = 390,32 - 41,92 = 348,40 \text{ kNm}$

Záporný moment lze redukovat na velikost v lici podpory

**1D vnitřní síly**  
Hodnoty:  $M_y$   
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSU

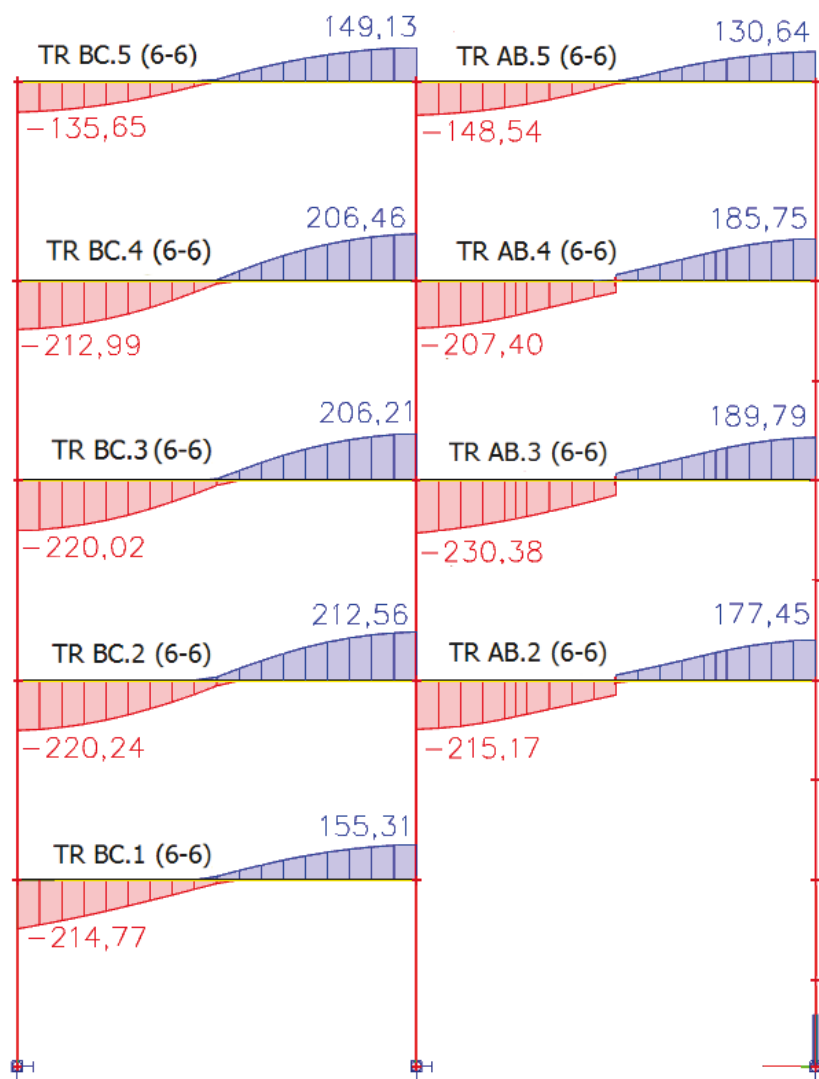


Obr. 7.1: Obalová křivka ohybových momentů na průvlacích (rám 6)

Maximální posouvající síla:  $V_{Ed,max} = 230,38 - 21,06 = 209,32 \text{ kN}$

Posouvající sílu lze redukovat do vzdálenosti  $d$  (cca 0,6 m) od líce podpory.

**1D vnitřní síly**  
Hodnoty:  $V_z [\text{kN}]$   
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSU



Obr. 7.2: Obalová křivka posouvajících sil na průvlacích (rám 6)

### 7.1.1. Návrh výztuže pro běžný průvlak (směr $x$ )

Výška průvlaku:  $h = 650 \text{ mm}$

Šířka průvlaku:  $b_w = 400 \text{ mm}$

Smyková výztuž:  $\phi_{tř} = 10 \text{ mm}$   $n_{střížný} = 2 \text{ ks}$   $s_t = 170 \text{ mm}$

Krytí výztuže je závislé na třídě konstrukce, prostředí, ve kterém se prvek nachází, návrhové odchylce krytí, průměru výztuže a případně na konstrukčních zásadách. Nominální krytí smykové výztuže dle rovnice (5.2):

$$c_{nom,tř}^x = 25 \text{ mm}$$

Výztuž desky při horním povrchu je v zákrytu s třmínkovou výztuží (viz obr. 7.3).

### Ohybová výztuž:

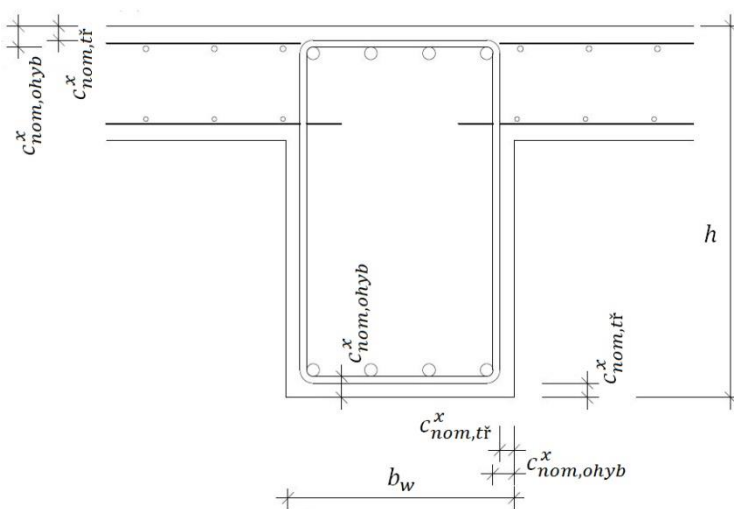
Průměr výztuže:  $\varnothing_{dolní} = 18 \text{ mm}$   $\varnothing_{horní} = 22 \text{ mm}$

Počet prutů v průvlaku  $n_{dolní} = 4 \text{ ks}$   $n_{horní} = 4 \text{ ks}$

U hlavní ohybové výztuže je nutné počítat s krytím třmínkové, tj. smykové, výztuže (viz obr. 4.5.3). Nominální krytí ohybové výztuže je pak:

$$c_{min,ohyb} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\text{mm}) = \max(22; 15; 10) = 22\text{mm}$$

$$c_{nom,ohyb}^x = \max(c_{min,ohyb} + \Delta c_{dev}; c_{nom,tř} + \varnothing_{tř}) = \max(32; 35) 35\text{mm}$$



Obr. 7.3: Schéma krytí výztuže pro průvlak ve směru x (kratší strana budovy)

### 7.1.2. Odolnost průvlaku v ohybu:

Plocha ohybové výztuže dle rovnice (6.3):

$$A_{s,dolní} = 1017,9 \text{ mm}^2 \quad A_{s,horní} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

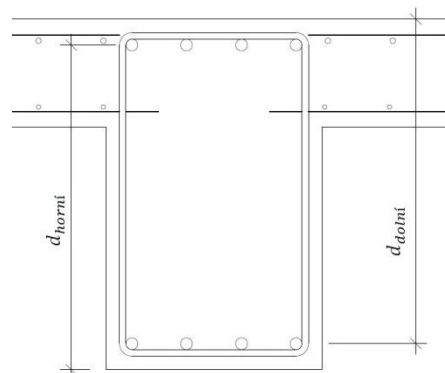
Síla ve výztuži dle rovnice (5.4):

$$F_{s,dolní} = 442,6 \text{ kN} \quad F_{s,horní} = 661,1 \text{ kN}$$

Účinná výška průřezu dle rovnice (5.5):

$$d_{dolní} = 606 \text{ mm}$$

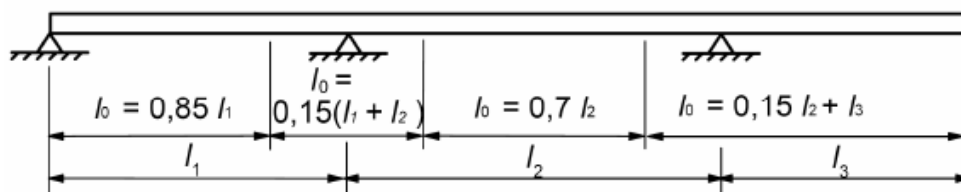
$$d_{horní} = 604 \text{ mm}$$



Obr 7.4: Účinná výška hlavní výztuže

Vzdálenost nulových momentů (vetknutí na koncích prutu)

$$l_0 = 0,7 \cdot l_2 = 0,7 \cdot 7,600 = 5320 \text{ mm} \quad (7.1)$$



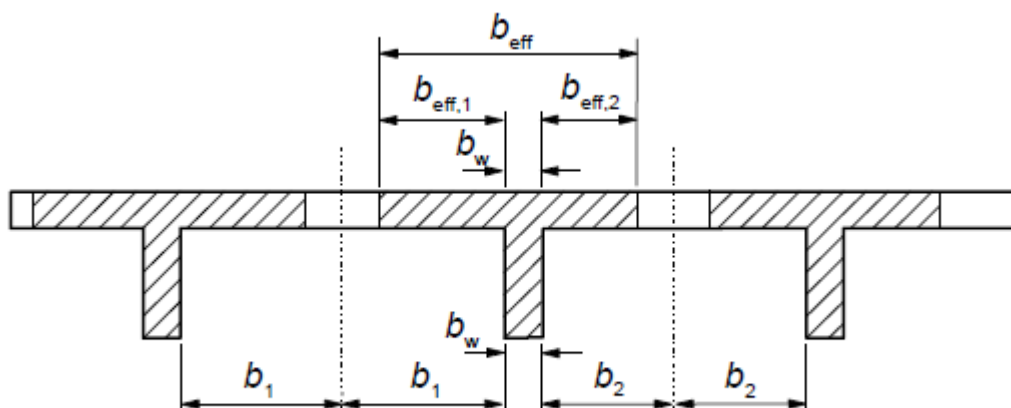
Obr 7.5: Definice  $l_0$  pro výpočet spolupůsobící šířky desky

Spolupůsobící šířka desky:

$$b_{eff,i} = \min \begin{pmatrix} 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \\ 0,2 \cdot l_0 \\ b_i \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 0,2 \cdot 3800 + 0,1 \cdot 5320 \\ 0,2 \cdot 5320 \\ 3800 \end{pmatrix} \quad (7.2)$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 1064 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \Sigma b_{eff,i} + b_w = 2 \cdot 1064 + 400 = 2528 \text{ mm} \quad (7.3)$$



Obr 7.6: Parametry pro spolupůsobící šířku desky

Výška tlačené oblasti průřezu v poli, včetně spolupůsobení desky

$$x = F_s / \lambda \cdot b_{eff} \cdot f_{cd} \cdot \eta \quad (7.4)$$

$$x_{dolní} = \frac{442,6}{0,8 \cdot 2,53 \cdot 16,67 \cdot 1} = 13,1 \text{ mm}$$

Výška tlačené oblasti průřezu nad podporou dle rovnice (5.6):

$$x_{horní} = 124,0 \text{ mm}$$

**Posudek odolnosti ohybových výztuží (v poli +; nad podporou -) dle rovnice (5.7):**

$$M_{Rd,dolní}^+ = 265,9 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,horní}^- = 366,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max}^+ = 218,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max}^- = 348,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

...vyhoví



### 7.1.3. Kontrola ohybové (horní) výztuže na smyk:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{604}} = 1,574 < 2 \quad \dots k = 1,574 \quad (7.5)$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12 \text{ MPa} \quad (7.6)$$

$$k_1 \cdot \sigma_{cp} = 0 \quad \dots \text{není normálová síla (na stranu bezpečnou)} \quad (7.7)$$

Stupeň vyztužení v podpoře:

$$\rho = \frac{A_{s,horní}}{b_w \cdot d} = \frac{1520,5}{400 \cdot 604} = 0,0063 \quad (7.8)$$

Minimální smykové napětí:

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,574^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,346 \text{ MPa} \quad (7.9)$$

Smyková únosnost bez smykové výztuže je maximum z rovnic (7.10) a (7.11):

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho \cdot f_{ck}} + k_1 \cdot \sigma_c] \cdot b_w \cdot d = 114,4 \text{ kN} \quad (7.10)$$

$$V_{Rd,c} = [120 \cdot 1,574 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0,0063 \cdot 25} + 0] \cdot 0,400 \cdot 0,604 = 114,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_c) \cdot b_w \cdot d \quad (7.11)$$

$$V_{Rd,c,min} = (346 + 0) \cdot 0,400 \cdot 0,604 = 83,6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} < V_{Ed} = 209,32 \text{ kN} \quad \dots \text{nevyhovuje, navrhovaná smyková výztuž je nutná}$$

### 7.1.4. Posudek průvlaku ve smyku (třmínková výztuž):

Průřezová plocha smykové výztuže:

$$A_{sw} = n_{střižný} \cdot \pi \cdot (\emptyset/2)^2 = 2 \cdot \pi \cdot (10/2)^2 = 157,1 \text{ mm}^2 \quad (7.12)$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 604 = 543,6 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$\cot \theta = 1; f_{ywd} = f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}$$

Redukční součinitel pevnosti betonu:

$$v_1 = 0,6 \cdot [1 - (f_{ck}/250)] = 0,6 \cdot [1 - (25/250)] = 0,54 \quad (7.14)$$

$$\alpha_{cw} = 1; \tan \theta = 1$$

Pro únosnost smykové výztuže se vybere minimum z rovnic (7.15) a (7.16):

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta) / s \quad (7.15)$$

$$V_{Rd,s} = (157,1 \cdot 543,6 \cdot 434,8 \cdot 1) \cdot 10^{-3} / 170 = 218,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot [f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)] \quad (7.16)$$

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 0,4 \cdot 0,5436 \cdot 0,54 \cdot [16,67 / (1 + 1)] \cdot 10^3 = 978,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} > (V_{Ed} = 209,32 \text{ kN}) \quad \text{Ohybová i smyková výztuž vyhoví dle MSÚ.}$$

### 7.1.5. Konstrukční zásady výztuže:

Minimální plocha ohybové výztuže dle rovnice (5.8):

$$\begin{aligned} A_{s,min,dolní} &= 323,3 \text{ mm}^2 & A_{s,min,horní} &= 322,2 \text{ mm}^2 \\ A_{s,min,dolní} &< A_{s,dolní} = 1017,9 \text{ mm}^2 & A_{s,min,horní} &< A_{s,horní} = 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maximální plocha ohybové výztuže (dole i nahoře) dle rovnice (5.9):

$$A_{s,max} = 10400 \text{ mm}^2 \quad A_s < A_{s,max}$$

Omezení výšky tlačené oblasti pro ohybovou výztuž dle rovnice (5.10):

$$\begin{aligned} \xi_{dolní} &= 0,206 & \xi_{horní} &= 0,022 \\ \xi &< \xi_{bal} = 0,617 \end{aligned}$$

Minimální světlá vzdálenost ohybové výztuže dle rovnice (5.12):

$$\begin{aligned} s_{min,dolní} &= 21,6 \text{ mm} & s_{s,dolní} &= 84,7 \text{ mm} & s_{min,dolní} &< s_{s,dolní} \\ s_{min,horní} &= 26,4 \text{ mm} & s_{s,horní} &= 79,3 \text{ mm} & s_{min,horní} &< s_{s,horní} \end{aligned}$$

Kotevní délka ohybové výztuže dle rovnic (5.13); (5.14) a (5.15):

$$\begin{aligned} l_{b,rqd,dolní} &= 726 \text{ mm} & l_{b,rqd,horní} &= 888 \text{ mm} \\ l_{b,min,dolní} &= 218 \text{ mm} & l_{b,min,horní} &= 266 \text{ mm} \\ l_{bd,dolní} &= 730 \text{ mm} & l_{bd,horní} &= 890 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výztuž bude kotvena na délku 730 mm v poli a na 890 mm nad podporou.

Minimální stupeň vyztužení smykovou výztuží:

$$\rho_{w,min} = \max \left( 0,08 \cdot \left( \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \right); V_{Ed} / (f_{ywd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot \theta) \right) \quad (7.17)$$

$$\rho_{w,min} = \max \left( 0,08 \cdot \left( \frac{\sqrt{25}}{500} \right); 209,32 / (434,8 \cdot 0,4 \cdot 0,54 \cdot 1) \right) = 0,0022$$

$$\rho_{sw} = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) = 157,1 / (170 \cdot 400 \cdot 1) = 0,0023 \quad (7.18)$$

$$\rho_{sw} > \rho_{w,min}$$

Maximální příčná vzdálenost větví třmíneků:

$$s_{t,max} = \min \left( \frac{0,75 \cdot d}{600 \text{ mm}} \right) = \min \left( \frac{0,75 \cdot 604}{600} \right) = 453 \text{ mm} \quad (7.19)$$

$$s_t = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom,tř} - \phi_{tř}}{n-1} = \frac{400 - 2 \cdot 25 - 10}{2-1} = 340 \text{ mm} \quad s_t < s_{t,max} \quad (7.20)$$

Maximální vzdálenost mezi sestavami třmínkové výztuže:

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 604 \cdot (1 + 0) = 453 \text{ mm} \quad (7.21)$$

$$s_{max} > s = 170 \text{ mm}$$

Všechny konstrukční zásady, pro běžný průvlak v dané rámové vazbě, jsou splněny.

### 7.1.6. Mezní stav použitelnosti (MSP)

U mezního stavu použitelnosti je obecně nutno zkontrolovat průhyb, napětí a možný vznik trhlin.

#### Omezení průhybu:

Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,3$

Referenční stupeň vyztužení:  $\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,0050$

Požadovaný stupeň vyztužení dle (5.18):

$$\rho = 0,00354$$

Mezní poměr délky a efektivní výšky prvku dle (5.19):

U průřezů s přilehlými deskami, u nichž je poměr šířky desky k šířce žebra větší než 3 se hodnoty  $l/d$  stanovené ze vztahu (5.19) násobí součinitelem 0,8.

$$l/d_{mezní} = 1,3 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{0,0050}{0,0035} + 3,2 \cdot \sqrt{25} \cdot \left( \frac{0,0050}{0,0035} - 1 \right)^{3/2} \right] = 33,58$$

$$l/d_{real} = 7600/604 = 12,6 < l/d_{mezní} = 26,8 = (0,8 \cdot 33,58)$$

Je dodržen mezní poměr  $l/d$  a od výpočtu lze upustit.

#### Ověření napětí ve výztuži:

Napětí ve výztuži při MSP dle (5.20):

$$\sigma_{s,dolní} = 281 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,horní} = 302 \text{ MPa}$$

Mezní napětí výztuže:

$$k_3 \cdot f_{yk} = 0,4 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

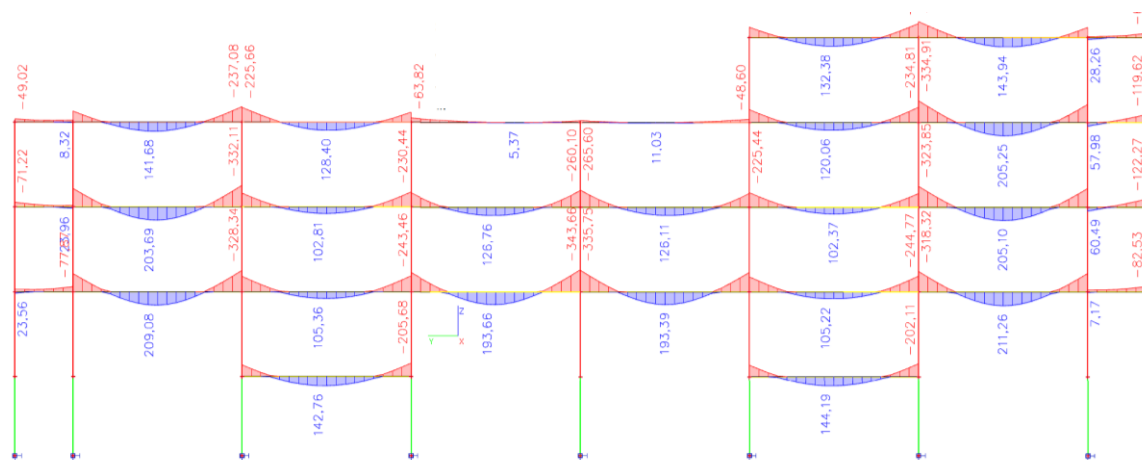
Nepříjemné trhliny a deformace nevzniknou, jelikož tahové napětí v betonářské výztuži při MSP nepřekročí mezní napětí  $k_3 \cdot f_{yk}$ .

#### Omezení trhlin a napětí v betonu:

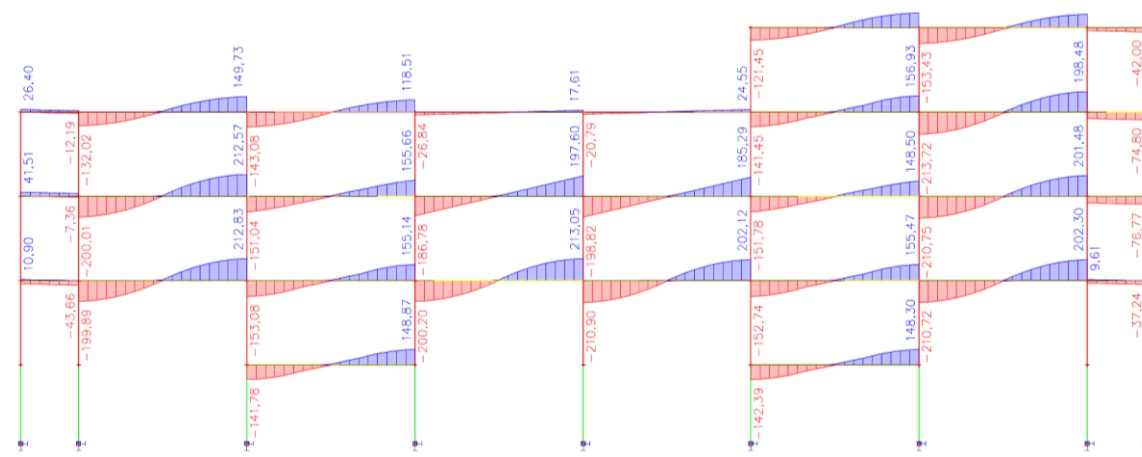
Omezení trhlin a ověření napětí v betonu není potřeba, protože dle [7] v prostředí XC1 nejsou kladeny požadavky na vzhled.

## 7.2. Průvlaky v podélném směru

V poli je ohybem nejvíce namáhán průvlak s označením TR B.2 (6-7). Smykem a ohybem nad podporou je nejvíce namáhán průvlak TR B.2 (3-4). Budou vyztuženy stejně.



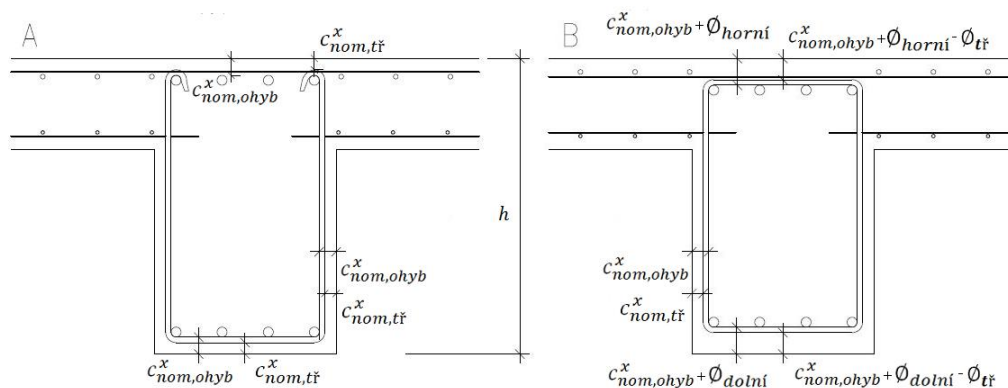
Obr. 7.7: Obalová křivka ohybových momentů na průvlacích (rám B)



Obr. 7.8: Obalová křivka posouvajících sil na průvlacích (rám B)

### 7.2.1. Návrh polohy výztuže

Průvlaky ze směru  $y$  se v oblasti nad sloupky kříží s průvlaky ve směru  $x$ , a proto budou mít ohybovou i smykovou výztuž dále od povrchu (viz obr. 4.3.1).



Obr. 7.9: Schéma uložení výztuže v průvlaku: A) v příčném směru  $x$ , tj. kratší strany budovy; B) v podélném směru  $y$ , tj. rovnoběžném s delší stranou budovy; rozměry v [mm]

Návrh, posudek MSÚ, posudek MSP a konstrukční zásady uvedeny v příloze 4.3.

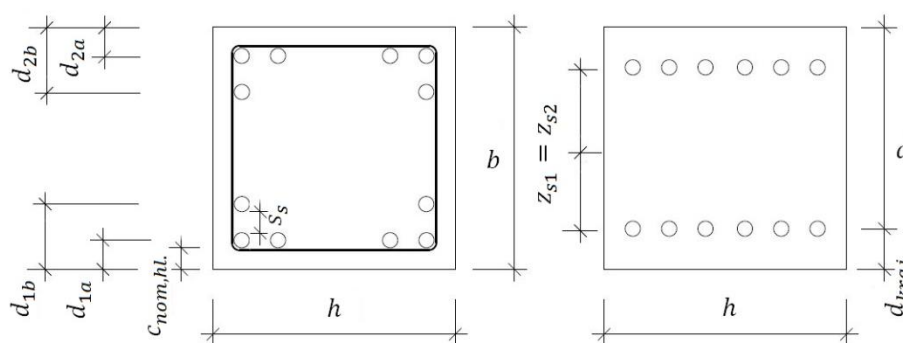
## 8 Sloupy

Sloupy jsou hlavní nosnou svislou konstrukcí a zatížení z průvlaků přenáší do základové desky. Sloupy budou vyztuženy jednotlivými pruty, vázaných pomocí třmínků. Navrhované a posuzované sloupy budou z rámu 6.

### 8.1. Nejvíce zatížený sloup

Posouzení bude provedeno na nejvíce namáhaném sloupu (viz obr. 8.2). Pro posudek je nutno určit nejnebezpečnější kombinace normálové síly a ohybových momentů (zde tři kombinace). Všechna zatížení jsou určena softwarem SCIA Engineer.

|                              |                                    |                             |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Výška sloupu / účinná výška: | $l = 3,8 \text{ m}$                | $l_0 = 1,9 \text{ m}$       |
| Průřez sloupu:               | $b = h = 400 \text{ mm}$           |                             |
| Průměr výztuže:              | $\phi_{hl.} = 25 \text{ mm};$      | $\phi_{tř.} = 8 \text{ mm}$ |
| Světlá vzdálenost prutů:     | $s_s = 30 \text{ mm}$              |                             |
| Počet prutů hl. výztuže:     | $n = 12 \text{ ks}$ (dle obr. 8.1) |                             |



Obr. 8.1: skutečné uložení prutů výztuže → zjednodušené uložení výztuže pro potřebu návrhu

Nominální krytí hl. výztuže dle rovnice (4.2) a třmínků:

$$c_{nom,hl.} = 35 \text{ mm}$$

$$c_{nom,tř.} = \max \left( \frac{c_{nom,hl.} - \phi_{tř.}}{2}, c_{nom} \text{ dle (4.2)} \right) = 27 \text{ mm} \quad (8.1)$$

Vzdálenost výztuže blíže k okraji:

$$d_{1a} = d_{2a} = c_{nom,hl.} + \frac{\phi_{hl.}}{2} = 35 + 12,5 = 47,5 \text{ mm} \quad (8.2)$$

Vzdálenost výztuže dále od okraje:

$$d_{1b} = d_{2b} = d_{1a} + s_s + \phi_{hl.} = 47,5 + 30 + 25 = 102,5 \text{ mm} \quad (8.3)$$

Účinná výška pro zjednodušený průřez:

$$d = h - \left( \frac{d_{1b} - d_{1a}}{3} + d_{1a} \right) = 400 - \left( \frac{102,5 - 47,5}{3} + 47,5 \right) = 334,2 \text{ mm} \quad (8.4)$$

Vzdálenost výztuže k okraji (pro zjednodušený průřez):

$$d_{kraj} = h - d = 400 - 334,2 = 65,8 \text{ mm} \quad (8.5)$$

Vzdálenost výztuže od středu průřezu (pro zjednodušený průřez):

$$z_{s1} = z_{s2} = \frac{h}{2} - d_{kraj} = 200 - 65,8 = 134,2 \text{ mm} \quad (8.6)$$

Plocha průřezu:

$$A_c = b \cdot h = 0,4^2 = 0,16 \text{ m}^2 \quad (8.7)$$

Plocha výztuže (pro zjednodušený průřez):

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{n}{2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 = \frac{12}{2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{25}{2}\right)^2 = 2945,2 \text{ mm}^2 \quad (8.8)$$

Síla ve výztuži (pro zjednodušený průřez) dle rovnice (5.4):

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1280,5 \text{ kN}$$

#### **Kombinace 1:**

$$g_{d1} = 1,35 \cdot (\text{vl. tíha} + \text{DL}_1 + \text{DL}_2 + \text{DL}_3 + \text{SCH}_1 + \text{SCH}_2 + \text{PL}) + \\ + 0,75 \cdot (\text{S}_2) + 1,5 \cdot (\text{B}_1 + \text{B}_2) + 0,9 \cdot (\text{W}_{270, \text{cpe}+, \text{cpi}-}) \quad (8.9)$$

Maximální normálová síla:

$$N_{Ed, \max} = 3336,57 \text{ kN}$$

Příslušný ohybový moment v příčném směru:

$$M_{Ed, x, \text{přísl}(N_{Ed})} = 48,94 \text{ kNm}$$

Příslušný ohybový moment v podélném směru:

$$M_{Ed, y, \text{přísl}(N_{Ed})} = 124,34 \text{ kNm}$$

#### **Kombinace 2:**

$$g_{d2} = 1,00 \cdot (\text{vl. tíha} + \text{DL}_1 + \text{DL}_2 + \text{DL}_3 + \text{SCH}_1 + \text{SCH}_2 + \text{PL}) + \\ + 1,5 \cdot (\text{W}_{0, \text{cpe}-, \text{cpi}+}) \quad (8.10)$$

Maximální ohybový moment v příčném směru:

$$M_{Ed, x, \max} = 98,84 \text{ kNm}$$

Příslušná normálová síla:

$$N_{Ed, \text{přísl}(M_{Ed, x})} = 1912,05 \text{ kN}$$

Příslušný ohybový moment v podélném směru:

$$M_{Ed, y, \text{přísl}(M_{Ed, x})} = 57,06 \text{ kNm}$$

#### **Kombinace 3:**

$$g_{d3} = 1,35 \cdot (\text{vl. tíha} + \text{DL}_1 + \text{DL}_2 + \text{DL}_3 + \text{SCH}_1 + \text{SCH}_2 + \text{PL}) + \\ + 1,5 \cdot (\text{B}_1 + \text{B}_2) + 0,9 \cdot (\text{W}_{0, \text{cpe}-, \text{cpi}-}) \quad (8.11)$$

Maximální ohybový moment v příčném směru:

$$M_{Ed, y, \max} = 133,89 \text{ kNm}$$

Příslušná normálová síla:

$$N_{Ed, \text{přísl}(M_{Ed, y})} = 3288,78 \text{ kN}$$

Příslušný ohybový moment v podélném směru:

$$M_{Ed, x, \text{přísl}(M_{Ed, y})} = 8,46 \text{ kNm}$$

## Návrhové momenty včetně uvážení výstřednosti (nejhorší kombinace, tj. Komb. 1)

Excentricita (platí pro všechny kombinace):

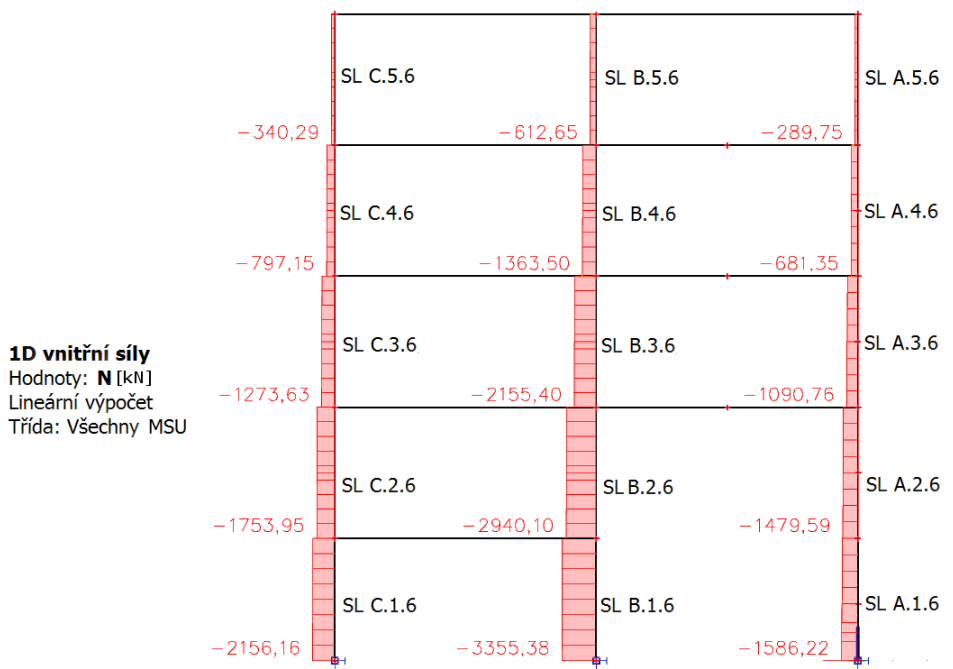
$$e_i = l_0/400 \quad (8.12)$$

Ohybový moment 1. řádu včetně imperfekcí (excentricity):

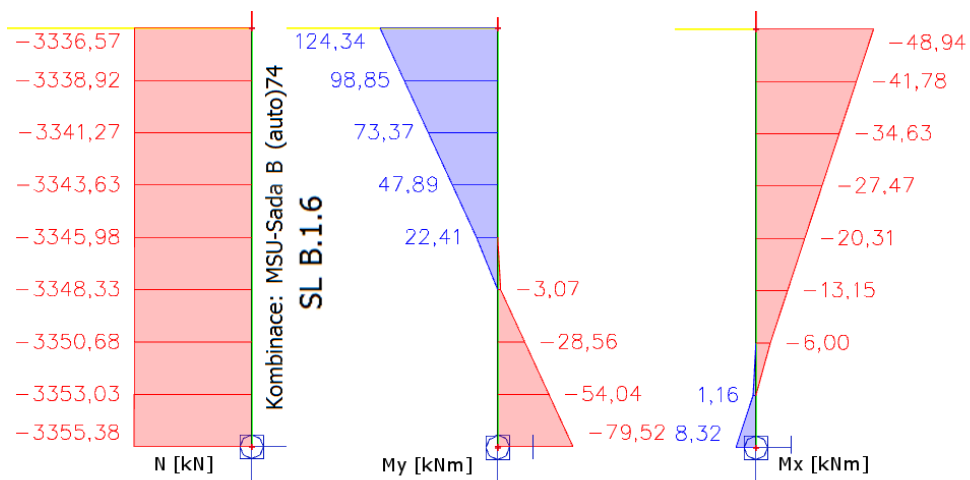
$$M_{0Ed} = M_{0Ed} + N_{Ed} \cdot e_i \quad (8.13)$$

$$M_{0Ed,y,Komb.1} = 48,94 + 3336,57 \cdot \frac{1,9}{400} = 64,79 \text{ kNm}$$

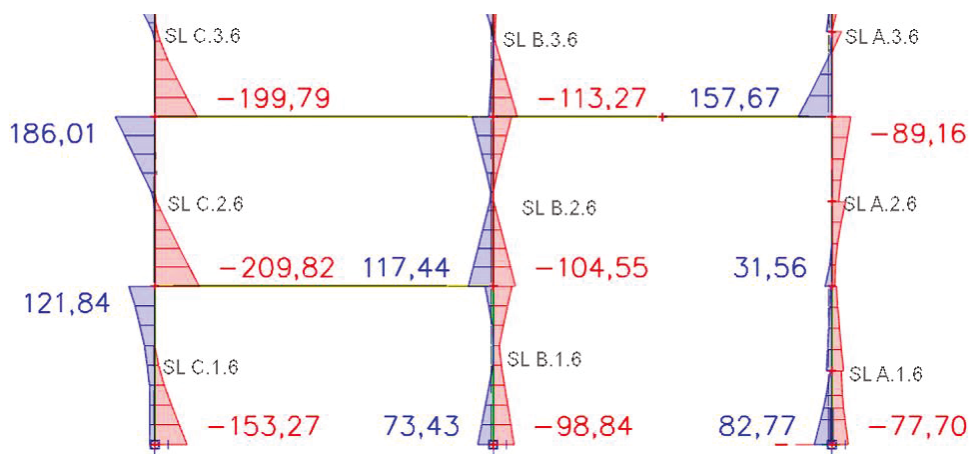
$$M_{0Ed,x,Komb.1} = 124,34 + 3336,57 \cdot \frac{1,9}{400} = 140,19 \text{ kNm}$$



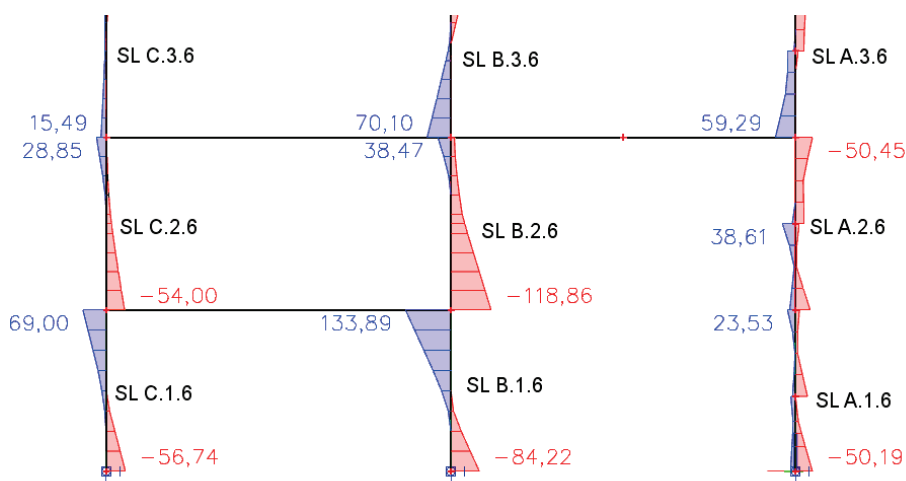
Obr. 8.2: Maximální normálové síly na sloupech (rám 6)



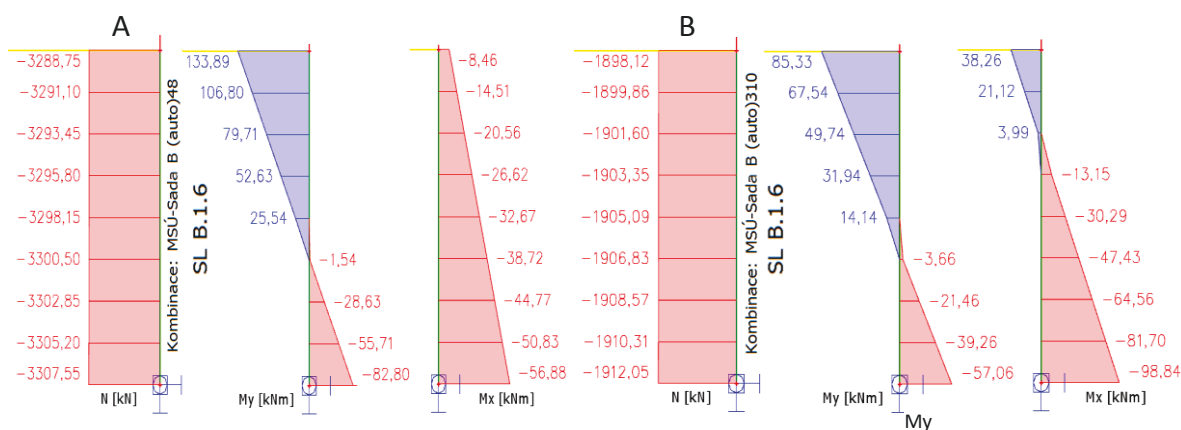
Obr. 8.3: Maximální normálové síla (SL B.1.6) a příslušné ohybové momenty



Obr. 8.4: Obalová křivka ohybových momentů ve směru  $x$  (rám 6)



Obr. 8.5: Obalová křivka ohybových momentů ve směru  $y$  (rám 6)



Obr. 8.6: Příslušné vnitřní síly k: A) maximální moment  $M_{Ed,y,max}$ ; B) maximální moment  $M_{Ed,x,max}$



### 8.1.1. Štíhlost prutu

Před posouzením průřezu je nutné zkontrolovat štíhlost prvku.

Štíhlost prutu (platí pro čtvercový průřez):

$$\lambda = \frac{l_0 \cdot \sqrt{12}}{h} = \frac{1,9 \cdot \sqrt{12}}{0,4} = 16,45 \quad (8.14)$$

Limitní štíhlost prutu (1. kombinace =  $N_{max}$ ):

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} = \frac{3,337}{0,4^2 \cdot 16,67} = 1,25 \quad (8.15)$$

$$A = 0,7 \quad \dots \text{konzervativně}$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}} = \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{5890,5 \cdot 434,78}{160\,000 \cdot 16,67}} = 1,71 \quad (8.16)$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \min\left(\frac{8,32}{-48,94}; \frac{-79,52}{124,34}\right) = -0,17 \quad (8.17)$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 + 0,17 = 1,87 \quad (8.18)$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,71 \cdot 1,87}{\sqrt{1,25}} = 40,04 \quad (8.19)$$

Sloup vyhoví limitní štíhlosti (v obou směrech – posuzován směr horší) a není třeba brát v úvahu účinky 2. řádu. Ostatní kombinace také vyhoví (viz příloha 5.1).

### 8.1.2. Interakční diagram

Bod 0 – celý průřez je tlačенý  $M_{Ed} = 0; N_{Ed} = \text{maximum}; x = h$

$$F_{c,0} = b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} \quad (8.20)$$

$$F_{c,0} = 0,4^2 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 = 2666,7 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = F_c + \sum A_s \cdot \sigma_s \quad (8.21)$$

$$\sigma_s = \min(\varepsilon_{c3} \cdot E_s; f_{yd}) = \min(1,75 \cdot 200; 434,8) = 350 \text{ MPa} \quad (8.22)$$

$$N_{Rd,0} = 2666,7 + 2 \cdot 2945,2 \cdot 350 \cdot 10^{-3} = 4728,3 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = (A_{s1} \cdot z_{s1} - A_{s2} \cdot z_{s2}) \cdot \sigma_s \quad (8.23)$$

$$M_{Rd,0} = (2945,2 \cdot 134,2 - 2945,2 \cdot 134,2) \cdot 350 \cdot 10^{-3} = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1 – tlačená oblast  $x=d$  (neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s1}$ )

$$F_{c,1} = \lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \quad (8.24)$$

$$F_{c,1} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,334 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 = 1782,2 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,1} = F_{c1} + F_{s1} + F_{s2} \quad (8.25)$$

$$N_{Rd,1} = 1782,2 + 0 + 1280,5 = 3062,7 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = F_{c1} \cdot (h/2 - \lambda \cdot d/2) + F_{s2} \cdot z_{s2} \quad (8.26)$$

$$M_{Rd,1} = 1782,2 \cdot \left(\frac{0,4}{2} - 0,8 \cdot \frac{0,334}{2}\right) + 1280,5 \cdot 0,134 = 290,0 \text{ kNm}$$

**Bod 2** – zvýšení excentricity, tak, aby byla síla ve výztuži  $F_{s1}$  byla na mezi kluzu)

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617 \quad (8.27)$$

$$x_{bal} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 334 = 206,1 \text{ mm} \quad (8.28)$$

$$F_{c,2} = \lambda \cdot x_{bal} \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \quad (8.29)$$

$$F_{c,2} = 0,8 \cdot 0,2061 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 = 1099,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,bal} = F_{c2} + F_{s1} - F_{s2} \quad (8.30)$$

$$N_{Rd,bal} = 1099,4 + 1280,5 - 1280,5 = 1099,4 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = F_{c2} \cdot (h/2 - \lambda \cdot x_{bal}/2) + F_{s1} \cdot z_{s1} + F_{s2} \cdot z_{s2} \quad (8.31)$$

$$M_{Rd,bal} = 1099,4 \cdot \left( \frac{0,4}{2} - 0,8 \cdot \frac{0,2061}{2} \right) + 2 \cdot (1280,5 \cdot 0,134) = 468,4 \text{ kNm}$$

**Bod 3** - prostý ohyb

$$M_{Ed} = \text{maximum}; N_{Ed} = 0$$

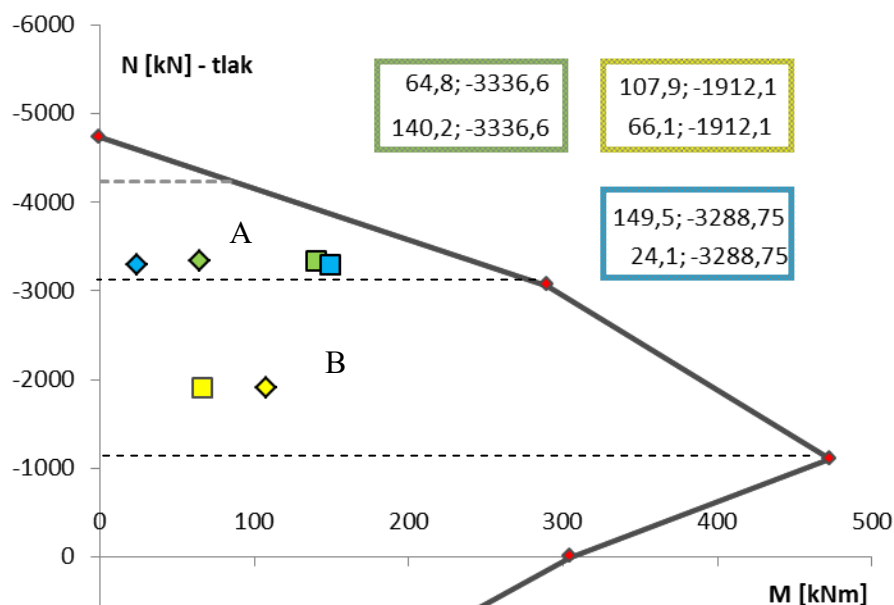
$$x = F_{s1} / \lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \quad (8.32)$$

$$x = \frac{1280,5}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 16,67} = 240,1 \text{ mm}$$

$$N_{Rd,3} = 0 \text{ kN} \quad (8.33)$$

$$M_{Rd,3} = F_{s1} \cdot (d - \lambda \cdot x/2) \quad (8.34)$$

$$M_{Rd,3} = 1280,5 \cdot \left( 0,334 - \frac{0,8 \cdot 0,240}{2} \right) = 304,93 \text{ kNm}$$



Obr. 8.7.: Graf znázorňuje posouzení pro 3 kombinace (v jednotlivých směrech)

Sloup pro všechny tři kombinace v jednotlivých směrech ( $x$ ,  $y$ ) vyhoví, neboť se nachází uvnitř vymezené oblasti diagramu. Je však nutné posoudit jej také na kombinaci v těchto směrech.

### 8.1.3. Odolnost průřezu

Jelikož se body, v interakčním diagramu u všech tří kombinací, nachází nad bodem 2, postupuje se při posudcích dle rovnice přímky (oblasti viz obr. 8.7).

Rovnice přímky - oblast A:

$$M_{Rd,A} = M_{Rd,0} + \frac{(M_{Rd,1} - M_{Rd,0})}{(N_{Rd,0} - N_{Ed})} \cdot (N_{Rd,0} - N_{Ed}) \quad (8.35)$$

Rovnice přímky - oblast B:

$$M_{Rd,B} = M_{Rd,1} + \frac{(M_{Rd,bal} - M_{Rd,1})}{(N_{Rd,1} - N_{Rd,bal})} \cdot (N_{Rd,1} - N_{Ed}) \quad (8.36)$$

Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu:

$$N_{Rd} = (A_c \cdot f_{cd}) / (A_s \cdot f_{yd}) \quad (8.37)$$

$$N_{Rd} = \left( \frac{160\,000 \cdot 16,67}{5890,5 \cdot 434,78} \right) \cdot 10^{-3} = 5227,8 \text{ kN}$$

### 8.1.4. Dvojsoý ohyb (kombinace 1):

Sloup je namáhán ve dvou směrech, a proto je nutné uvážit kombinaci momentů.

Odolnost konstrukce (pro oba směry shodná) dle rovnice (8.35):

$$M_{Rd,Komb.1} = 0 + \frac{(290,03 - 0)}{(4728,34 - 3062,78)} \cdot (4728,34 - 3336,6) = 242,4 \text{ kNm}$$

Poměr zatížení normálovou silou a osově únosnosti:

$$N_{Ed}/N_{Rd} = 3336,6/5227,8 = 0,64 \quad (8.38)$$

Exponent pro dvojsose namáhaný sloup (viz obr. 8.8):  $\alpha \doteq 1,45$

|                 |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|
| $N_{Ed}/N_{Rd}$ | 0,1 | 0,7 | 1,0 |
| $\alpha$        | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Obr. 8.8 Tabulka pro zjištění exponentu (mezilehlé hodnoty lze interpolovat) dle [7]

Kombinace 1 (max. normálová síla a příslušné momenty včetně výstřednosti):

$$\left( \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right)^{\alpha} + \left( \frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} \right)^{\alpha} \leq 1 \quad (8.39)$$

$$\left( \frac{64,8}{242,4} \right)^{1,64} + \left( \frac{140,2}{242,4} \right)^{1,64} = 0,52 \leq 1$$

Sloup vyhoví dle mezního stavu únosnosti (ostatní kombinace v příloze 5.1).

### 8.1.5. Konstrukční zásady

#### Hlavní výztuž:

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = (0,1 \cdot N_{Ed}) / f_{yd} \quad (8.40)$$

$$A_{s,min} = (0,1 \cdot 3336,6 \cdot 10^3) / 434,78 = 767,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s = 5890,5 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha ohybové výztuže dle rovnice (5.9):

$$A_{s,max} = 6400 \text{ mm}^2 \quad A_{s,max} > A_s = 5890 \text{ mm}^2$$

Základní kotevní délka výztuže dle rovnice (5.13):

$$l_{b,rqd} = 1009 \text{ mm}$$

Koeficienty pro kotevní délku:

|   |   |
|---|---|
| $\alpha_1 = 1$  | pro přímé tažené pruty                                  |
| $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \emptyset) / \emptyset$ | pro přímé tažené pruty ( $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$ ) |
| $\alpha_3 = 1$  | není zde ovinutí příčnou výztuží                        |
| $\alpha_4 = 1$  | nejsou příčně přivařené pruty                           |
| $\alpha_5 = 1$  | není zde účinek ovinutí příčným tlakem                  |

Minimální kotevní délka dle rovnice (5.15)

$$l_{b,min} = 303 \text{ mm}$$

Navržená kotevní délka dle rovnice (5.14):

$$l_{bd} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1009 \doteq 950 \text{ mm}$$

Výztuž bude kotvena na délku 950 mm.

#### Příčná výztuž:

Minimální průměr příčné výztuže:

$$\emptyset_{s,min} = \max\left(\frac{\emptyset}{4}; 6 \text{ mm}\right) = \max(6,25; 6) = 8 \text{ mm} \quad (8.41)$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže:

$$s_{s,max} = \min\left(\frac{15 \cdot \emptyset}{\min(b; h)}\right) = \min\left(\frac{15 \cdot 25 = 375}{400}, \frac{300}{300}\right) = 300 \text{ mm} \quad (8.42)$$

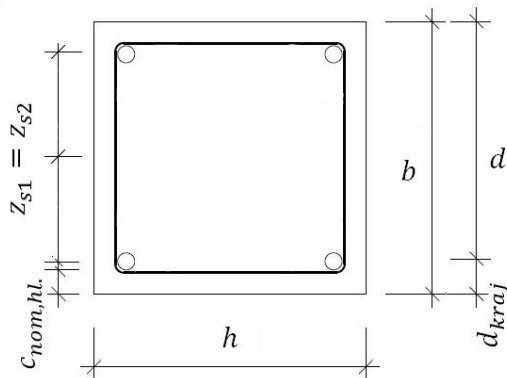
Všechny konstrukční zásady, pro daný sloup jsou splněny.

Omezení trhlin a ověření napětí v betonu není potřeba, protože dle [7] v prostředí XC1 nejsou kladeny požadavky na vzhled.

## 8.2. Sloup přes dvě podlaží

Pro sloup přes dvě podlaží je použit stejný postup jako pro sloup jednopodlažní s přihlédnutím k větší štíhlosti.

|                              |                                    |                                  |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Výška sloupu / účinná výška: | $l = 7,6 \text{ m}$                | $l_{0,x} = 3,8 \text{ m}$        |
| Průřez sloupu:               | $b = h = 400 \text{ mm}$           |                                  |
| Průměr výztuže:              | $\emptyset_{hl.} = 25 \text{ mm};$ | $\emptyset_{tř.} = 8 \text{ mm}$ |
| Počet prutů hl. výztuže:     | $n = 4 \text{ ks}$                 | (dle obr. 8.9)                   |



Obr. 8.9: Uložení prutů výztuže

Nominální krytí hl. výztuže i třmínků je shodné s běžným sloupem:

$$c_{nom,hl.} = 35 \text{ mm}$$

$$c_{nom,tř.} = 27 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu dle rovnice (5.5):

$$d = 340 \text{ mm}$$

Vzdálenost výztuže k okraji dle rovnice (8.5):

$$d_{kraj} = 400 - 340 = 60 \text{ mm}$$

Vzdálenost od středu průřezu dle rovnice (8.6):

$$z_{s1} = z_{s2} = 140 \text{ mm}$$

Plocha průřezu dle rovnice (8.7):

$$A_c = 0,4^2 = 0,16 \text{ m}^2$$

Plocha výztuže dle rovnice (8.8):

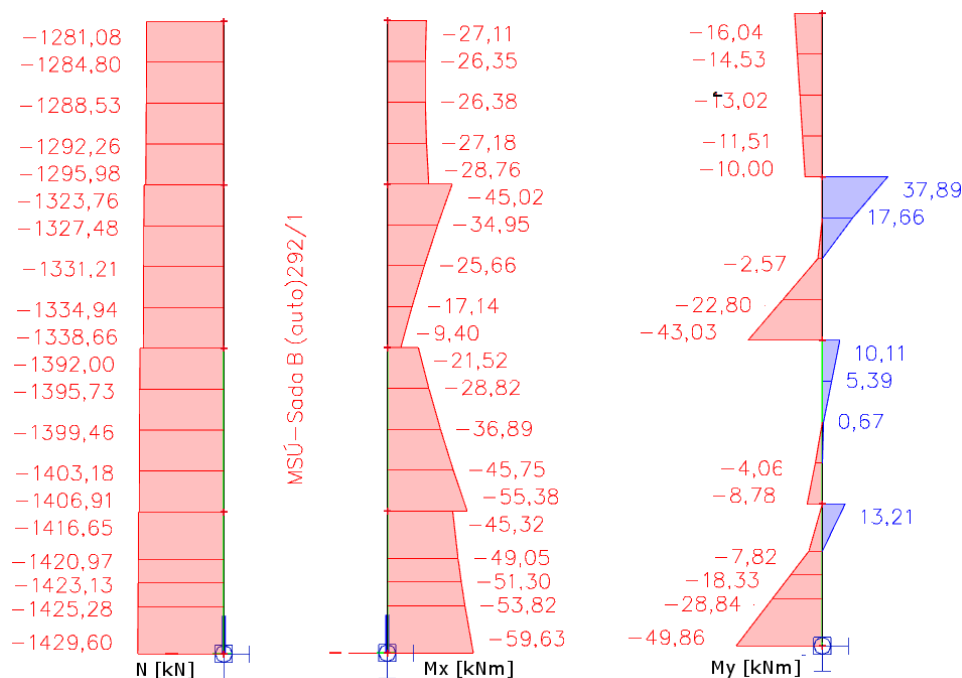
$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{4}{2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{25}{2}\right)^2 = 981,7 \text{ mm}^2$$

Síla ve výztuži dle rovnice (5.4):

$$F_{s1} = F_{s2} = 135,87 \text{ kN}$$

### 8.2.1. Štíhlost prutu (platí pro čtvercový průřez):

Sloup bude posouzen na štíhlost pouze ve směru  $x$ , neboť ve směru  $y$  je jeho účinná výška podstatně menší (0,95 m). Je uplatněna nejhorší kombinace (koncové momenty  $m_x$  na stejné straně):



Obr. 8.10: Nejhorší kombinace pro štíhlost (SL A.1.6 – A.2.6)

Normálová síla (viz obr.: 8.10):

$$N_{Ed} = 1429,6 \text{ kN}$$

Ohybový moment v příčném směru (viz obr.: 8.10):

$$M_{Ed,x} = 83,0 \text{ kNm}$$

Ohybový moment v podélném směru (viz obr.: 8.10):

$$M_{Ed,y} = 29,1 \text{ kNm}$$

Štíhlost prutu (ve směru  $x$ ) dle rovnice (8.14)

$$\lambda = \frac{3,8 \cdot \sqrt{12}}{0,4} = 32,91$$

Limitní štíhlost prutu dle rovnic (8.15) až (8.19):

$$n = \frac{1,430}{0,4^2 \cdot 16,67} = 0,54$$

$$A = 0,7$$

...konzervativně

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{1963,4 \cdot 434,78}{160\,000 \cdot 16,67}} \sqrt{1 + 2 \cdot 0,32} = 1,28$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \left( \frac{27,11}{59,63} \right) = 0,46$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 0,46 = 1,24$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,28 \cdot 1,24}{\sqrt{0,54}} = 30,37$$

Sloup nevyhoví ve směru  $x$  limitní štíhlosti. Proto je nutné počítat s momentem 2. řádu.

### 8.2.2. Moment 2. řádu pro kombinaci s $N_{Ed,max}$ (a příslušných ohyb. momentů):

Excentricita dle rovnice (8.12):

$$e_i = l_0/400 = 3,8/400 = 0,0095$$

Ohybový moment 1. řádu včetně imperfekce (excentricity) dle (8.13):

$$M_{0Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_i$$

$$M_{0Ed,x} = 73,21 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed,y} = 63,44 \text{ kNm}$$

Poměrná normálová síla

$$n = N_{Ed}/A_c \cdot f_{cd} = 1,430/(0,16 \cdot 16,67) = 0,536 \quad (8.43)$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,32 = 1,32 \quad (8.44)$$

$$n_{bal} \cong 0,4$$

Opravný součinitel dle normálové síly:

$$K_r = (n_u - n) \cdot (n_u - n_{bal}) \leq 1 \quad (8.45)$$

$$K_r = (1,32 - 0,536) \cdot (1,32 - 0,4) = 0,85$$

Křivost:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{2,174}{0,45 \cdot 340,83} = 0,014 \quad (8.46)$$

### Vliv pevnosti a dotvarování:

Kvazistálé zatížení:

$$\sum_{i \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (8.47)$$

$$N_{0Eqp} = 875,7 \text{ kN}$$

$$M_{0,x,Eqp} = 39,5 \text{ kNm}$$

$$M_{0,y,Eqp} = 22,5 \text{ kNm}$$

Lineární dotvarování:

$$\sigma_c = N_{0Eqp}/A_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}(t_0) \quad (8.48)$$

$$\sigma_c = \frac{875,7}{0,4^2} = 5,47 \text{ MPa} < 11,25 \text{ MPa}$$

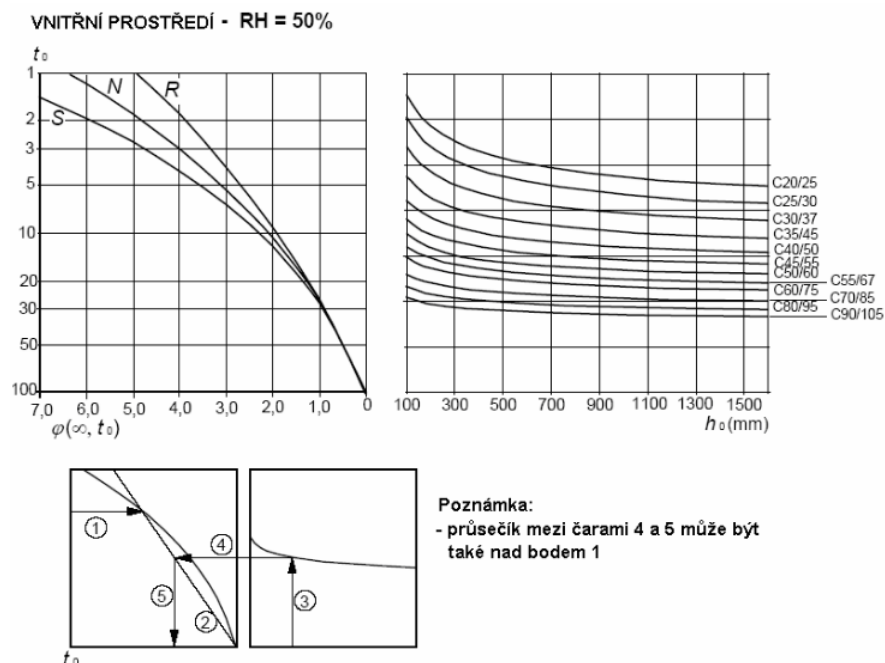
V betonu dochází k lineárnímu dotvarování.

Jmenovitý rozměr příčného řezu:

$$h_0 = (2 \cdot A_c)/2 \cdot (b + h) = 10^3 \cdot (2 \cdot 0,16)/2 \cdot (0,4 + 0,4) = 200 \text{ mm} \quad (8.49)$$

Účinný součinitel dotvarování:

- vnitřní prostředí, zatížitelnost po 30 dnech, normálně tuhnoucí cement
- $\varphi_{(\infty, t_0)}$  – viz Obr. 8.11



Obr. 8.11: Graf pro určení dotvarování betonu

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot (M_{Eqp} / M_{0Ed}) \quad (8.50)$$

$$\varphi_{efx} = 2,5 \cdot \left( \frac{39,5}{73,1} \right) = 1,35$$

Součinitel závislý na pevnostní třídě betonu a štíhlosti:

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{25}{200} - \frac{32,91}{150} = 0,26 \quad (8.51)$$

Součinitel dle pevnosti a dotvarování:

$$K_{\varphi} = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1 \quad (8.52)$$

$$K_{\varphi, x} = 1 + 0,26 \cdot 1,35 = 1,34$$

Součinitel závislý na rozdělení křivosti:  $c = 10$

Ohybový moment 2. řádu:

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_{\varphi} \cdot \frac{1}{r_0} = 0,85 \cdot 1,34 \cdot 0,014 = 0,0157 \quad (8.53)$$

$$e_2 = \left( \frac{1}{r} \cdot l_0^2 \right) / 10 \quad (8.54)$$

$$e_2 = \frac{0,0157 \cdot 3,8^2}{10} = 0,0227$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 \quad (8.55)$$

$$M_{2,x} = 1430 \cdot 0,0227 = 32,4 \text{ kNm}$$



### Výsledné návrhové momenty

$$M_{Ed,x} = M_{0Ed} + M_2 \quad (8.56)$$

$$M_{Ed,x} = 73,2 + 32,4 = 105,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed,y} = 63,4 \text{ kNm}$$

### 8.2.3. Interakční diagram

Bod 0 – dle rovnic (8.20) až (8.23)

$$F_{c,0} = 2666,7 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = 3353,9 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1 – dle rovnic (8.24) až (8.26)

$$F_{c,1} = 1880,0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,1} = 2306,9 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = 176,0 \text{ kNm}$$

Bod 2 – dle rovnic (8.27) až (8.31)

$$\xi_{bal,1} = 0,62 \quad x_{bal} = 217,44 \text{ mm}$$

$$F_{c,2} = 1159,7 \text{ kN} \quad N_{Rd,bal} = 1159,7 \text{ kN}$$

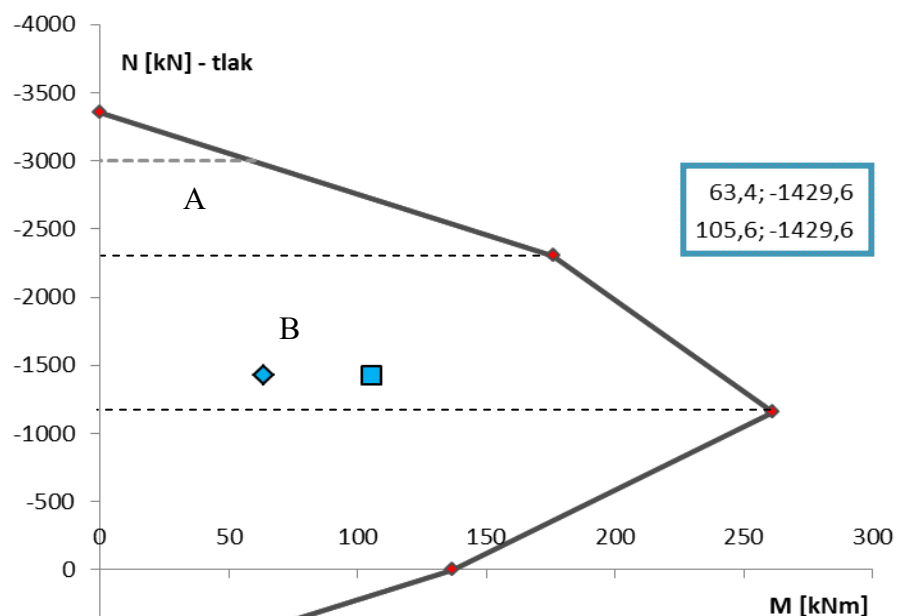
$$M_{Rd,bal} = 261,3 \text{ kNm}$$

Bod 3 - dle rovnic (8.32) až (8.34)

$$x = 80,0 \text{ mm}$$

$$N_{Rd,3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,3} = 136,8 \text{ kNm}$$



Obr. 8.12.: Graf znázorňuje posouzení pro nejhorší kombinaci (v jednotlivých směrech vyhoví)

#### 8.2.4. Dvojsoý ohyb:

Sloup je namáhan ve dvou směrech, a proto je nutné uvážit kombinaci momentů.

Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu dle rovnice (8.37):

$$N_{Rd} = \left( \frac{160\,000 \cdot 16,67}{1963,5 \cdot 434,78} \right) \cdot 10^{-3} = 3520,4 \text{ kN}$$

Odolnost konstrukce (pro oba směry shodná) dle rovnice (8.36):

$$M_{Rd} = 176,0 + \frac{(261,3 - 176,0)}{(2306,9 - 1159,6)} \cdot (2306,9 - 1428,8) = 241,2 \text{ kNm}$$

Poměr zatížení normálovou silou a osově únosnosti dle rovnice (8.38):

$$N_{Ed}/N_{Rd} = 1430/3520,4 = 0,41$$

Exponent pro dvojsose namáhaný sloup (viz obr. 8.8):  $a \doteq 1,38$

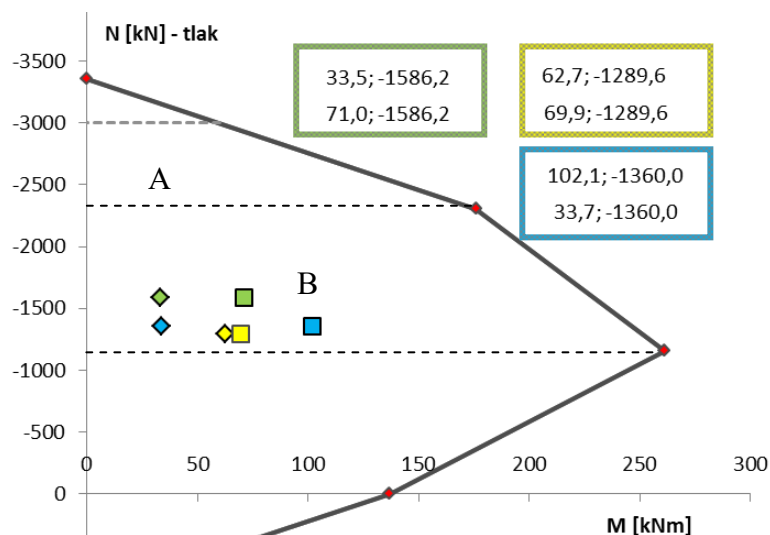
Odolnost dvojsoá (pro kombinaci, která nevyhověla štíhlosti) dle rovnice (8.39):

$$\left( \frac{63,4}{241,2} \right)^{1,38} + \left( \frac{105,6}{241,2} \right)^{1,38} = 0,48 \leq 1$$

Kombinace s maximálními hodnotami ( $N_{max}$ ,  $M_{y,max}$ ,  $M_{x,max}$ ) by štíhlosti vyhověly, a jsou posouzeny dle rovnice (8.39):

$$\left( \frac{33,5}{229,6} \right)^{1,44} + \left( \frac{71,0}{229,6} \right)^{1,44} = 0,25 \leq 1 \quad \left( \frac{62,7}{251,6} \right)^{1,33} + \left( \frac{69,9}{251,6} \right)^{1,33} = 0,34 \leq 1$$

$$\left( \frac{33,7}{246,4} \right)^{1,36} + \left( \frac{102,1}{246,4} \right)^{1,36} = 0,37 \leq 1$$



Obr. 8.13.: Graf znázorňuje posouzení pro kombinace s maximálními hodnotami vnitřních sil (v jednotlivých směrech vyhoví)

Podrobné data z programu Excel jsou v příloze 5.2.

### 8.2.5. Konstrukční zásady

#### Hlavní výztuž:

Minimální plocha výztuže dle rovnice (8.40):

$$A_{s,min} = (0,1 \cdot 1430 \cdot 10^3) / 434,78 = 328,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s = 1963,5 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha ohybové výztuže dle rovnice (5.9):

$$A_{s,max} = 6400 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} > A_s = 1964 \text{ mm}^2$$

Základní kotevní délka výztuže dle rovnice (5.13):

$$l_{b,rqd} = 1009 \text{ mm}$$

Koeficienty pro kotevní délku:

$$\alpha_1 = 1$$

pro přímé tažené pruty

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \emptyset) / \emptyset$$

pro přímé tažené pruty ( $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$ )

$$\alpha_3 = 1$$

není zde ovinutí příčnou výztuží

$$\alpha_4 = 1$$

nejsou příčně přivařené pruty

$$\alpha_5 = 1$$

není zde účinek ovinutí příčným tlakem

Minimální kotevní délka dle rovnice (5.15)

$$l_{b,min} = 303 \text{ mm}$$

Navržená kotevní délka dle rovnice (5.14):

$$l_{bd} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1009 \doteq 950 \text{ mm}$$

Výztuž bude kotvena na délku 950 mm.

#### Příčná výztuž:

Minimální průměr příčné výztuže dle rovnice (8.41):

$$\emptyset_{s,min} = \max(6,25; 6) = 8 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost příčné výztuže dle rovnice (8.42):

$$s_{s,max} = \min(375; 400; 300) = 300 \text{ mm}$$

Všechny konstrukční zásady, pro daný sloup jsou splněny.

Omezení trhlin a ověření napětí v betonu není potřeba, protože dle [7] v prostředí XC1 nejsou kladeny požadavky na vzhled.

### 8.3. Běžný sloup – řešení v příloze 5.3.

## 9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a posoudit vybrané konstrukční nosné prvky rámové železobetonové konstrukce budovy radnice a optimalizace statického působení konstrukce, tj. změny konstrukcí oproti architektonické studii [1]. Studie řešeného objektu ke statickému posouzení byla již k dispozici.

Úkolem bylo vypočítat dle platných norem zatížení, které na objekt působí a aplikovat je na model. 3D Model byl vytvořen v programu SCIA Engineer. Mezi hlavní výhody použitého softwaru patří:

- snazší aplikace zatížení dle platných norem (vlastní tíha, sníh, 3D vítr)
- možnost namodelovat celou konstrukci, kde je zatížení přenášeno bez nutnosti ručního výpočtu (roznášecí panely, aj.)
- generace kombinací zatížení (MSÚ i MSP)
- zobrazení vnitřních sil (na šikmé konstrukci; v požadované dimenzi)

Následné navržené konstrukční prvky bylo nutné posoudit podle platných norem, a to mezního stavu únosnosti i použitelnosti.

V průběhu statického výpočtu došlo ke snížení výšky stropních desek z 250 mm na 200 mm. Výška podesty u schodišť byla upravena z 380 mm na 150 mm. Schodišťová ramena jsou změněna na desková schodiště o tloušťce desky 150 mm.

Nakonec byly vytvořeny stavební výkresy výztuže vybraných prvků z objektu.

Vzhledem k rozsáhlosti stavby bylo založení stavby na základovou desku pouze navrženo, ale nebylo dimenzováno ani posuzováno.

## **Poděkování**

Závěrem bych chtěl poděkovat vedoucí práce Ing. Pavlíně Matečkové, Ph.D. za užitečné rady a poznatky ohledně posuzování a navrhování železobetonových prvků podle platných norem, včetně rad k zpracování výkresů výztuže. Mé díky patří také rodině, která mě ve studiu podporuje.

## 10 Seznam příloh a výkresů

### Seznam příloh:

1. Zatížení sněhem a větrem - podrobněji
2. Návrh a posouzení deskových konstrukcí (pochůzí střecha, vnitřní stropy)
3. Návrh a posouzení deskové konstrukce podesty
4. Návrh a posouzení průvlaků  
(nejzatíženější ve směru  $x$ ; nejzatíženější ve směru  $y$ ; rám 6)
5. Návrh a posouzení sloupů (rám 6)

### Seznam výkresů:

- 1a. Výkres spodní výztuže stropních desek v 2.NP
- 1b. Výkres horní výztuže stropních desek v 2.NP
2. Výkres výztuže atypického schodiště
3. Výkres výztuže průvlaků (rám 6)
4. Výkres výztuže sloupů (rám 6)

## 11 Seznam použitých pramenů

- [1] JANČOVÁ, Dominika: *Bakalářská práce: Radnice Mariánské Hory* [online]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/>. Ostrava: 2018.
- [2] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří KRÁTKÝ: *Navrhování betonových konstrukcí podle Eurocode 2: doplňkové skriptum*. Praha: České vysoké učení technické, 1995.
- [3] ČSN EN 1991-1-1 (ed. 2), *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha, a užitná zatížení pozemních staveb*. Česká technická norma. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 1991-1-3 (ed. 2), *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Česká technická norma. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] VŠB-TU Ostrava a ČHMÚ, *Mapa zatížení sněhem na zemi* [online]. Dostupné z: <https://clima-maps.info/snehovamapa/>.
- [6] ČSN EN 1991-1-4 (ed. 2), *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Česká technická norma. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] ČSN EN 1992-1-1 (ed. 2), *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Česká technická norma. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.